

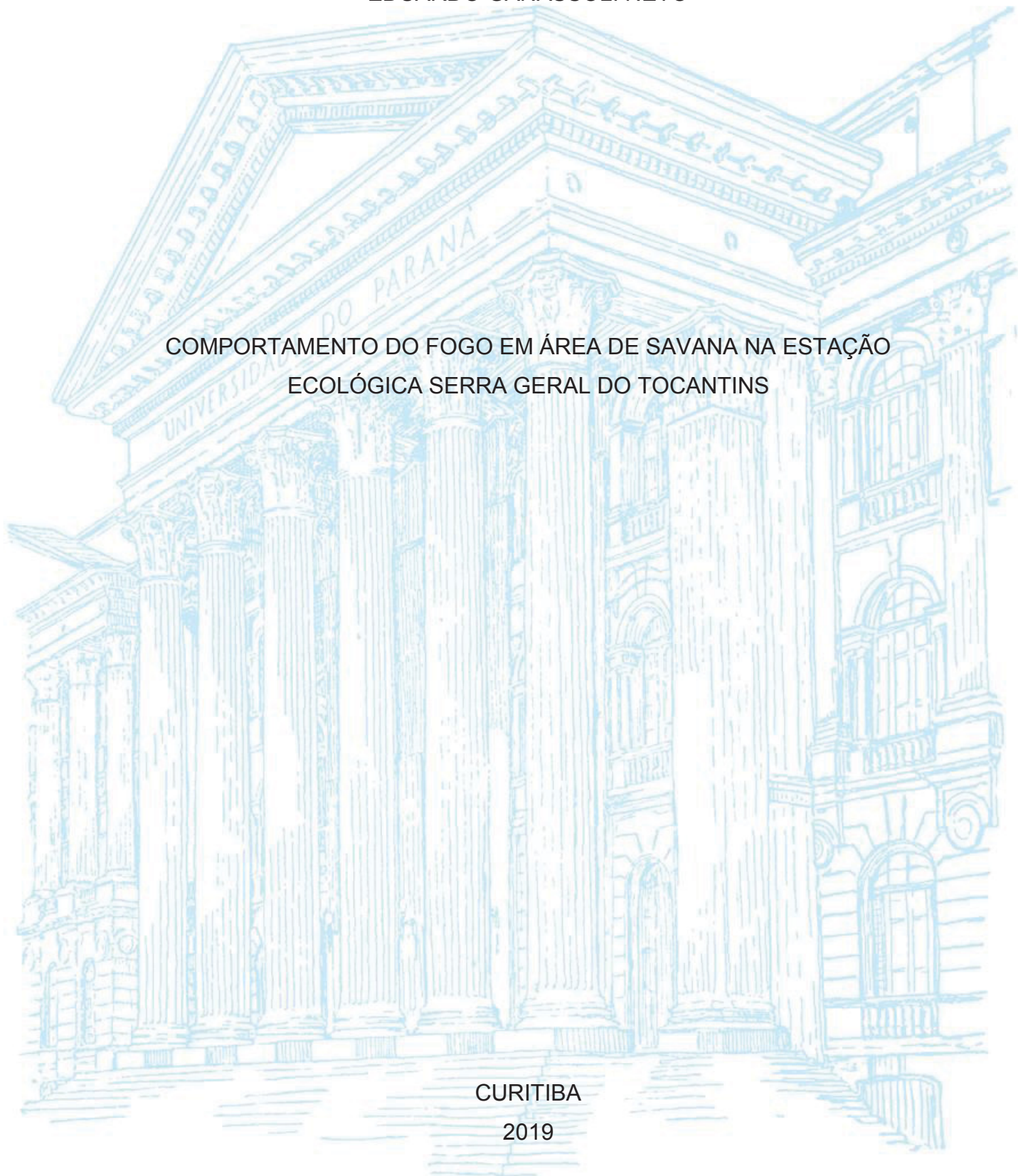
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO GANASSOLI NETO

COMPORTAMENTO DO FOGO EM ÁREA DE SAVANA NA ESTAÇÃO
ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS

CURITIBA

2019



EDUARDO GANASSOLI NETO

COMPORTAMENTO DO FOGO EM ÁREA DE SAVANA NA ESTAÇÃO
ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Batista
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Giongo

CURITIBA

2019

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Ganassoli Neto, Eduardo

Comportamento do fogo em área de savana na Estação Ecológica
Serra Geral do Tocantins / Eduardo Ganassoli Neto. – Curitiba, 2019.
81 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Batista

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Giongo

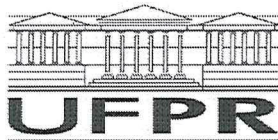
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
Defesa: Curitiba, 22/02/2019.

Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Incêndios florestais - Tocantins. 2. Queimada ordenada - Tocantins. 3.
Savanas - Fogo - Prevenção e controle. 4. Estação Ecológica Serra Geral
do Tocantins (BA - TO). 5. Teses. I. Batista, Antonio Carlos. II. Giongo,
Marcos. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias.
IV. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.43(811.7)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **EDUARDO GANASSOLI NETO** intitulada: **COMPORTAMENTO DO FOGO EM ÁREA DE SAVANA NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 22 de Fevereiro de 2019.

ANTONIO CARLOS BATISTA
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

GELSO DARCI SEGER
Avaliador Externo (Autônomo)

ALEXANDRE FRANÇA TETTO
Avaliador Interno (UFPR)



A Deus, a minha família e aos meus amigos e professores da vida Antonio Carlos Batista, Marcos Giongo, Umberto Petrilli, Reinhard Langen e Eloy Gonçalves Quintino.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela vida, proteção e bênçãos recebidas, mesmo quando não acreditava nos caminhos traçados pelo senhor. Obrigado DEUS.

A minha família em especial a minha mãe Tânia Cassoli, ao meu pai Gilmar Ganassoli, minha namorada Brunna Campos e a minha sogra Joelma Campos.

Um agradecimento especial aos meus orientadores Prof. Antonio Carlos Batista e Prof. Marcos Giongo, que sem eles esse documento não seria possível de ser realizado.

Aos amigos de todos os tempos Aldair (Preto), Alderi (Sula), Anailton (Mico), Bruno (Henry 14), Dagoberto (Caçapa), Diego (Forlan), Jairo (Ponte Preta), Marcelino (Xavier), Paulo Henrique (Valdé), Ricardo (Dir), Visconde (Cabeça) e Walisson (Zeta) que desde a infância sonharam junto comigo.

Agradeço aos companheiros e amigos do CeMAF em especial ao Allan David, Francisca Cassia, Edmar Vinícius, Igor² (Eloy e Viana), Jader Nunes, Micael Moreira e Rosemberg Reyes pela paciência, contribuições e trocas de experiências. Aos amigos que a faculdade me proporcionou: Bruno Aguiar, Duam Matosinhos, Euclides Fonseca, Fabiano Fernandes, Gabriel Oliveira, Lorena Gama e Thiessa Thamilla.

À Universidade Federal do Paraná, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade confiada, aos integrantes da coordenação do programa, em especial ao Reinaldo de Mendes de Souza e David Teixeira de Araujo pelo apoio e aos professores em especial a professora Daniela Biondi e Alexandre Tetto pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida, fundamental para a realização deste trabalho.

Agradeço em especial ao Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade (ICMBio), aos gestores da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins em nome de Ana Carolina Senna Barradas, Marco Assis Borges e Máximo Meneses por abrirem as portas e apoiarem esta pesquisa. Além deles um agradecimento a todos os Brigadistas, em especial ao Arizomar, Conceição, Deuzimar, Dionizio, Dirceu Mariano, Enos, Fabrício, João Batista, Lucas, Mauricio, Rogério e Santo que sem dúvida o companheirismo e colaboração foi de suma importância para o desenvolvimento desse trabalho.

“O fogo uniu povos e hoje nos une aqui”
(Jader Nunes Cachoeira)

RESUMO

Foram realizadas queimas controladas em vegetação de savana na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, com objetivo de avaliar o comportamento do fogo nos meses de junho, julho, agosto e setembro e caracterizar o combustível de acordo com o período sem queima. Os levantamentos de campo ocorreram em quatro etapas durante o ano de 2017, compreendendo o período de início e fim da estação seca. As queimas foram realizadas em áreas com situações distintas de idade da última queima sendo 1, 2, 3 e 4 anos sem queima. A coleta das informações de material combustível foi feita por “amostragem destrutiva” classificando-o quanto ao estado fisiológico (vivo e morto) e a classe de diâmetro. As variáveis de comportamento do fogo foram mensuradas e estimadas com o auxílio de balizas graduadas distribuídas na Unidade de Amostragem de Dados (UAD). Durante as queimas também foram monitoradas as variáveis meteorológicas: temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, bem como variáveis após a passagem do fogo. Nos meses de agosto e setembro foram observados os maiores valores para temperatura do ar e velocidade do vento, e menores valores de umidade relativa do ar. Ao analisar o comportamento do fogo, os maiores valores de altura de chama (4,13 m), velocidade de propagação ($0,62 \text{ m.s}^{-1}$), temperatura máxima da zona de combustão ($821,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$) e intensidade do fogo ($1.448 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) foram observados nas últimas épocas de queimas, nos meses de agosto e setembro. Para as variáveis calor liberado por unidade de área e consumo do combustível os menores valores foram evidenciados em áreas com tempo sem queima durante 2 anos. Foram evidenciadas correlações significativas e positivas entre todas as variáveis de comportamento do fogo. Além disso houve correlações positivas e significativas entre a quantidade de combustível morto com todas as variáveis do comportamento do fogo. Outra variável que também apresentou correlação com as variáveis do comportamento do fogo foi velocidade do vento. Com base nos resultados obtidos neste estudo, foi possível concluir que o comportamento do fogo foi influenciado pelas características do combustível (áreas com diferentes tempos sem queima) e condições meteorológicas. Foram obtidos modelos ajustados condizentes com a literatura para estimar a intensidade, a velocidade de propagação e altura de chama através de variáveis de combustível, meteorológicas e do comportamento do fogo.

Palavras-chave: Incêndios florestais. Queima controlada. Propagação do fogo. Jalapão.

ABSTRACT

The occurrences of savanna vegetation in the Serra Geral do Tocantins Ecological Station were eliminated in order to evaluate the behavior of the last days of July, July, August and September and characterize the fuel according to the period without burning. Field surveys occurred in four stages during the year 2017, comprising the period of beginning and end of the dry season. As they were affected in areas with different temperatures, the burn was 1, 2, 3 and 4 years without burning. The collection of the information of embarked material was done by "destructive sampling" classifying it for the physiological state (alive and dead) and a class of diameter. As behavioral variables in culture medium and aid estimation of graded plants distributed in the Data Sampling (UAD). During those that were also monitored as meteorological variables: temperature, relative air speed and wind speed, as well as the speed after the passage of the fire. The number of observers is high and high for the temperature and wind temperature and the air-related birth-values. In contrast to fire, the highest values of flame height (4.13 m), propagation velocity (0.62 ms^{-1}), maximum temperature of the combustion zone ($821.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$) and fire intensity ($1.448 \text{ m kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) were observed in the last seasons of the burnings, in the months of August and September. For the variable heat liberated for unit and consumption the fuel values to major levels are evidenced in areas with time without burning during 2 years. Mean and positive correlations were evidenced between all variables of fire behavior. In addition, there were positive and significant correlations between a quantity of safety material and all fire behavior variables. Another variable that was also different with the wind speed. Based on the results found, this study showed that the behavior of the fire was influenced by the characteristics of the fuel and by the meteorological conditions. They were classified as models compatible with an assessment of intensity, velocity of propagation and flame height through fuel variables, meteorological and fire behavior.

Keywords: Forest fires. Controlled burning. Fire Propagation. Jalapão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - LOCALIZAÇÃO DO BIOMA CERRADO	19
Figura 2 - LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA DO TOCANTINS	32
Figura 3 - CARACTERÍSTICAS DA VEGETAÇÃO PREDOMINANTE DA ÁREA DE ESTUDO	33
Figura 4 - DADOS METEOROLÓGICOS DA ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DO MUNICÍPIO DE MATEIROS-TO (2017)	33
Figura 5 - LOCAIS DE REALIZAÇÃO DAS QUEIMAS EXPERIMENTAIS.....	34
Figura 6 - UNIDADE DE AMOSTRAGEM DE DADOS (UAD) UTILIZADA PARA A COLETA DE DADOS	35
Figura 7 - ÁREAS COM DIFERENTES PERÍODOS SEM QUEIMA ENTRE OS ANOS DE 2013 A 2016 NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS (EESGT).....	36
Figura 8 - ESQUEMA IMPLANTADO PARA O REGISTRO TERMOGRÁFICO DAS QUEIMAS EXPERIMENTAIS EM UMA UNIDADE AMOSTRAL.....	40
Figura 9 - MODELO DO RELATÓRIO PARA OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE TEMPERATURA MÁXIMA NA ZONA DE COMBUSTÃO	41
Figura 10 - ALTURAS DA VEGETAÇÃO HERBÁCEAS (A) E ALTURA DA MANTA (B) DE MATERIAL COMBUSTÍVEL ANTES DA PASSAGEM DO FOGO.....	44
Figura 11 - MASSAS DE HERBÁCEAS VIVA (A) E MORTA (B) ANTES DA PASSAGEM DO FOGO	45
Figura 12 - MASSAS DE COMBUSTÍVEL VIVO (A) E MORTO (B) ANTES DA PASSAGEM DO FOGO	45
Figura 13 - MASSA DAS HERBÁCEAS TOTAL (A) E MASSA DE COMBUSTÍVEL TOTAL (B).....	46
Figura 14 - UMIDADE DO COMBUSTÍVEL VIVO (A) E MORTO (B) NAOS DIFERENTES TEMPOS SEM QUEIMA.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - TEMPERATURA MÉDIA DO AR (°C) DURANTE A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	47
Tabela 2 - UMIDADE RELATIVA DO AR (%) MÉDIA DURANTE A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	48
Tabela 3 - VELOCIDADE DO VENTO (m.s ⁻¹) MÉDIA DURANTE A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	48
Tabela 4 - ALTURA DA CHAMA (m)	50
Tabela 5 - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO FOGO (m.s ⁻¹).....	51
Tabela 6 - TEMPERATURA MÁXIMA DA ZONA DE COBUSTÃO (°C)	53
Tabela 7 - INTENSIDADE DO FOGO (kcal.m ⁻¹ .s ⁻¹).....	54
Tabela 8 - CALOR LIBERADO POR UNIDADE DE ÁREA (kcal.m ⁻²).....	57
Tabela 9 - ALTURA DAS HERBÁCEAS (cm) APÓS A PASSAGEM DO FOGO	58
Tabela 10 - ALTURA DA MANTA (cm) APÓS A PASSAGEM DO FOGO	58
Tabela 11 - MASSA RESIDUAL (kg.m ⁻²).....	59
Tabela 12 - CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (%)	60
Tabela 13 - CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DO COMBUSTÍVEL, METEOROLÓGICAS E COMPORTAMENTO DO FOGO	61
Tabela 14 - MODELOS PARA ESTIMATIVAS DE VARIÁVEIS DO COMPORTAMENTO DO FOGO.....	65

LISTA DE SIGLAS

BA	Bahia
CalFire	Departamento florestal e de proteção de incêndios da Califórnia
CERJ	Corredores ecológicos da região do Jalapão
CLB	Calor liberado por unidade de área
CNPq	Conselho nacional de desenvolvimento científico e tecnológico
CONS	Consumo de combustível
CV	Coeficiente de variação
Eabs	Erro absoluto
EESGT	Estação ecológica Serra Geral do Tocantins
/EUA	Estados Unidos da América
FMA+	Fórmula de Monte Alegre alterada
H	Poder calorífico
HC	Altura de chama
HHER	Altura de herbáceas antes do fogo
HHREP	Altura de herbáceas após a passagem do fogo
HMAN	Altura da manta antes do fogo
HMANP	Altura da manta após a passagem do fogo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade
IDM	Identificação do modelo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INT	Intensidade da linha de fogo
LAF	Linha de acompanhamento do fogo
MCM	Massa de combustível morto
MCT	Massa de combustível total
MCV	Massa de combustível vivo
MG	Minas Gerais
MHRM	Massa de herbácea morta
MHRT	Massa de herbácea total
MHRV	Massa de herbácea viva
MR	Massa residual
O	Oeste

PCC	Parcela de consumo de combustível
PMC	Parcela de material combustível
PR	Paraná
R^2_{aj}	Coeficiente de determinação ajustado
S	Sul
S/N	Sem número
SEPLAN	Secretaria de planejamento e da fazenda do estado do Tocantins
TAR	Temperatura do ambiente
TC	Temperatura máxima da zona de combustão
TO	Tocantins
TSQ	Tempo sem queima
UAD	Unidade de amostragem de dados
UCM	Unidade do combustível morto
UCV	Unidade do combustível vivo
UFPR	Universidade federal do paraná
UR	Umidade relativa do ar
VP	Velocidade de propagação
VV	Velocidade do vento

LISTA DE SÍMBOLOS

-	subtração
%	porcentagem
©	copyright
®	marca registrada
@	arroba
+	soma
<	menor que
>	maior que
°C	graus Celsius
Aw	clima tropical de savana,
cm	centímetros
ε	erro
ha	hectare
kcal	quilocaloria
kg	quilograma
ln	logaritmo natural
log	logaritmo
m	metros
m ²	metro quadrado
r	correlação
R ²	coeficiente de determinação
R ² _{aj}	coeficiente de determinação ajustado
s	segundos
TM	trademark

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2.3 HIPÓTESES	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 CERRADO	19
3.1.1 Localização e diversidade	19
3.1.2 Queimadas e incêndios florestais.....	20
3.1.3 Jalapão.....	20
3.1.3.1 Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins	21
3.2 MATERIAL COMBUSTÍVEL.....	22
3.3 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....	23
3.4 COMPORTAMENTO DO FOGO	25
3.4.1 Velocidade de propagação.....	25
3.4.2 Altura de chama	26
3.4.3 Temperatura máxima na zona de combustão	26
3.4.4 Intensidade do fogo	27
3.4.5 Calor liberado	28
3.4.6 Consumo de combustível	28
3.5 MODELOS PARA PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO	29
3.6 USO E APLICAÇÕES DOS ESTUDOS SOBRE O COMPORTAMENTO DO FOGO	30
3.6.1 Queima prescrita	30
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	32
4.2 LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS.....	34
4.3 SISTEMA AMOSTRAL	35
4.4 VARIÁVEIS AMOSTRADAS E PROCEDIMENTOS ADOTADOS.....	37
4.4.1 Material combustível.....	37
4.4.2 Variáveis meteorológicas	38
4.4.3 Comportamento do fogo.....	38

4.4.3.1 Velocidade de propagação	39
4.4.3.2 Altura das chamas	39
4.4.3.3 Temperatura da zona de combustão	39
4.4.3.4 Intensidade do fogo	41
4.4.3.5 Calor liberado por unidade de área	42
4.4.3.6 Avaliação após a passagem do fogo	42
4.5 ANÁLISE DOS DADOS	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 MATERIAL COMBUSTÍVEL	44
5.2 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	47
5.3 COMPORTAMENTO DO FOGO	49
5.4 CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS DE COMBUSTÍVEL, CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E COMPORTAMENTO DO FOGO	60
5.5 MODELOS MATEMÁTICOS PARA O COMPORTAMENTO DO FOGO	63
6 CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Problemas causados por incêndios florestais vêm se estendendo ao longo do tempo, sendo que os registros mais antigos de ocorrência nas savanas tropicais datam de 25 milhões de anos atrás (SCHULE, 1990).

Os incêndios florestais, que ocorrem frequentemente em quase todo o planeta, vêm aumentando gradativamente no número de registros, bem como, na extensão de área queimada ao passar dos anos. Apesar da existência de tecnologias para o combate do fogo, ainda há dificuldades para enfrentamento deste fenômeno (SOARES; BATISTA; TETTO, 2017). Um exemplo claro pode ser dado pelos recentes incêndios catastróficos ocorridos na Califórnia – EUA, em que, de acordo com o Departamento Florestal e de Proteção de Incêndios da Califórnia (CalFire) foram registrados 7.571 incêndios com uma área queimada de aproximadamente 680 mil hectares. Além desse, outros incêndios foram amplamente divulgados na mídia, como, por exemplo, incêndios florestais na região do Algarve no sul de Portugal, na Grécia em regiões próximas a capital Atenas e em Angra na Suécia.

Incêndios florestais são fenômenos altamente complexos envolvendo interações entre os processos de combustão, ambiente atmosférico e características do terreno e da vegetação (VIEGAS, 1998; LINN; CUNNINGHAM, 2005). Nesse processo, ao estudar a liberação de energia térmica durante a combustão, descrito pela intensidade do fogo, velocidade de propagação, características da chama e outros fenômenos relacionados, é possível compreender o comportamento do fogo (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015).

Nota-se um interesse de pesquisas relacionadas ao fenômeno da combustão na vegetação (CRUZ et al., 2015; PIQUÉ; DOMENECH, 2018) pois, em áreas de savana é frequente a ocorrência de incêndios, existindo então uma grande demanda sobre o conhecimento de técnicas de queima prescrita para subsidiar as ações de preservação e conservação destes ambientes.

Para entender os possíveis impactos do fogo nas plantas, é necessário estudar como as condições meteorológicas e características do combustível no momento da queima influenciam o comportamento do fogo em diferentes ecossistemas (GAMBIZA et al., 2005).

Diferentes argumentos podem ser utilizados para fomentar o uso da queima controlada. Por outro lado, existem contra argumentações no sentido de desencorajar sua prática (BATISTA, 1995). Tais divergências sobre o uso do fogo provêm justamente do número restrito de pesquisas sobre o assunto, principalmente sobre as características do seu comportamento em áreas de savana.

Parte dos experimentos com comportamento do fogo descritos na literatura são realizados sob condições meteorológicas ou períodos em que a intensidade do fogo seja aceitável para a segurança da realização das queimas. Tal fato resulta em uma limitação das informações relacionadas às condições que levariam a incêndios de alta intensidade não fornecendo uma amostra de todo o espectro de incêndios (GOVENDER; TROLLOPE; VAN WILGEN, 2006).

Buscando ações que possam colaborar na prevenção de incêndios e nos estudos sobre as relações entre os fatores que influenciam no comportamento do fogo, a modelagem para previsão do comportamento é uma ferramenta fundamental para análises e planejamento das atividades relacionadas aos incêndios florestais, principalmente na parte estratégica (SOARES; BATISTA; TETTO, 2017).

Com base na fórmula proposta por Rothermel (1972), existem trabalhos na literatura que descrevem o comportamento do fogo através de modelos empíricos (e.g. BROWN, 1982; ROTHERMEL, 1983; CHENEY et al., 2012; BATISTA; BEUTLING; PEREIRA, 2013; WHITE et al., 2016; FRANGIEH et al., 2018; PAGE et al., 2018). Existem *softwares* baseados em modelagem matemática para descrever o comportamento do fogo (*Behave*, *Behave plus*, *Farsite*, entre outros). Porém, como evidenciado por White, Ribeiro e Souza (2017), esses softwares são pouco práticos para a nossa realidade, pelo fato de terem sido desenvolvidos através de dados sobre variáveis de comportamento do fogo em que as características ambientais eram diferentes das encontradas no Brasil.

No Brasil o uso de modelagem matemática no estudo do comportamento do fogo ainda é raro, porém, nota-se um avanço no desenvolvimento de trabalhos sobre essa temática, citando como exemplos: Mistry e Berardi (2005); Almeida et al. (2008); Hoffmann et al. (2012); White, Ribeiro e Souza (2013); White et al. (2017) e White (2018). Apesar do recente aumento de estudos sobre o comportamento do fogo através dos modelos de predição, ainda há demanda por novos modelos principalmente pela diversidade de vegetação no território brasileiro.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse estudo foi avaliar o comportamento do fogo identificando suas correlações com as variáveis de combustível e meteorológicas, para subsidiar cientificamente ações de manejo para proteção da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. de forma a desenvolver modelos que possam descrever o comportamento do fogo em áreas de savana parque na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para a atender o objetivo geral deste trabalho, os objetivos específicos foram:

- a) Avaliar a influência do combustível no comportamento de fogo por meio de queimas experimentais realizadas em áreas com um, dois, três e quatros anos sem passagem do fogo;
- b) Estudar o efeito das variáveis meteorológicas no comportamento do fogo por meio de queimas experimentais durante a estação seca, compreendendo os meses de junho, julho, agosto e setembro;
- c) Verificar as correlações entre as variáveis do comportamento do fogo, meteorológicas e as características do material combustível;
- d) Desenvolver e ajustar modelos matemáticos para prever as variáveis do comportamento do fogo.

2.3 HIPÓTESES

Para esta pesquisa foram consideradas as seguintes hipóteses:

- I. As áreas com diferentes períodos sem queima apresentam diferentes cargas de combustível, influenciando no comportamento do fogo;
- II. Os diferentes meses de queimas durante a estação seca apresentam condicionantes meteorológicas que influenciam no comportamento do fogo.

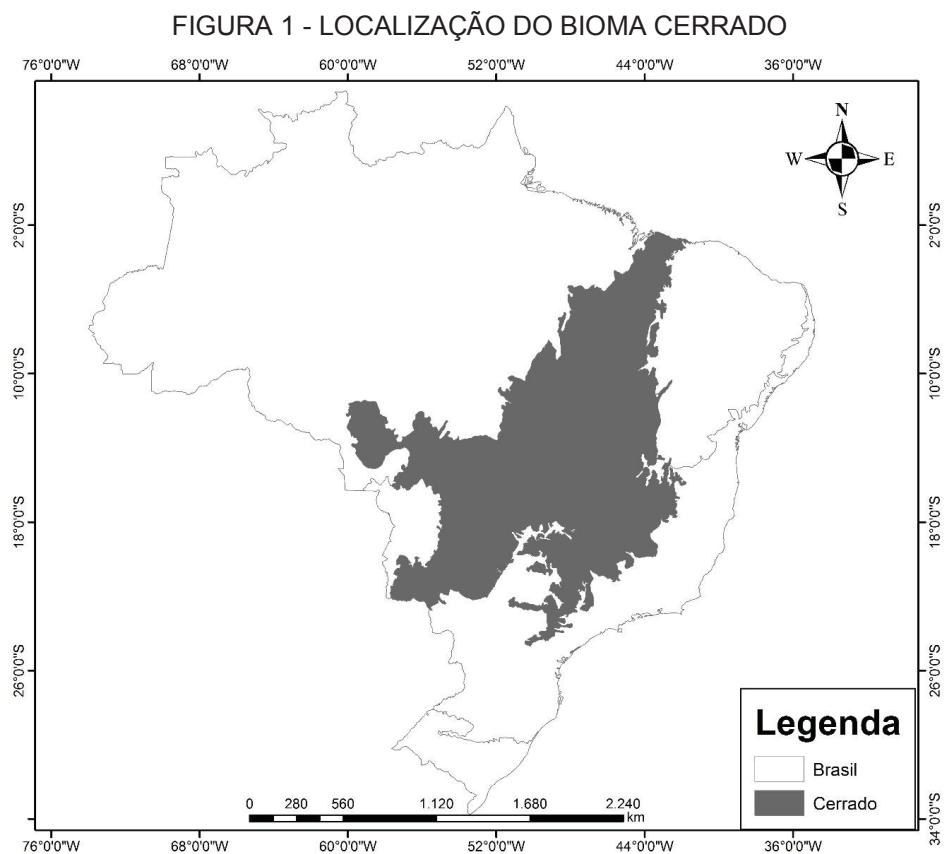
3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CERRADO

3.1.1 Localização e diversidade

O bioma Cerrado é composto por um mosaico de savana, arbustos, campos e florestas secas (MIRANDA; BUSTAMANTE; MIRANDA, 2002), reconhecido como um *“hotspot”* para a conservação, por abranger uma das regiões mais ricas em biodiversidade do mundo (MYERS et al., 2000). Esse bioma é palco de uma crescente ocupação humana, que demanda esforços de todos os setores em busca do desenvolvimento sustentável, para conciliar os interesses sociais, econômicos e ambientais (DIAS et al., 2011).

No Brasil, o bioma Cerrado abrange uma área aproximada de 204,7 milhões de hectares (FIGURA 1), sendo o segundo maior bioma do país. Ocupa, continuamente, a totalidade do Distrito Federal, mais da metade dos estados de Goiás (97%), Maranhão (65%), Mato Grosso do Sul (61%), Minas Gerais (57%) e Tocantins (91%), além dos enclaves no Amapá, Roraima e Amazonas (IBGE, 2004).



FONTE: Adaptado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2004.

O Cerrado tem se mostrado ao longo dos anos como um bioma ligado a ação do fogo. Essa relação estreita comunga com diversos fatores, seja pela sua propensão natural ao fogo, com características de adaptação e dependência, seja pela pressão antrópica sofrida, tais como: atividades de agropecuária com a utilização de queima para renovação de pastagens (KLINK, 1996).

3.1.2 Queimadas e incêndios florestais

A maioria dos incêndios florestais evidenciados no Cerrado são incêndios de superfície, que se espalham rapidamente, consomem quase toda a camada herbácea e raramente matam a vegetação lenhosa (MIRANDA et al., 1993), uma vez que parte dos indivíduos arbóreos/arbustivos apresentam características biológicas para suportar e sobreviver a determinadas ações do fogo.

O acúmulo de material combustível em áreas de Cerrado está relacionado à fisionomia (CASTRO; KAUFFMANN, 1998) e ao período desde o acontecimento do último incêndio (OLIVERAS et al., 2013), em que o fogo exerce uma influência nas características da vegetação.

Os efeitos do regime de fogo sobre o ecossistema são determinados especialmente pela periodicidade e pela época em que o fogo ocorre, sendo influenciados pelas características do comportamento do fogo, que por sua vez é influenciado por condições meteorológicas durante a queima, tempo de residência de altas temperaturas, altura das chamas, velocidade de propagação e intensidade da frente de fogo (SCHMIDT et al., 2016).

3.1.3 Jalapão

No Tocantins, localizam-se os maiores remanescentes de Cerrado do país (PIVELLO, 2011), distribuídos em unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável, bem como nas terras indígenas, reservas legais e áreas de proteção permanente. Dentre as maiores áreas destaca-se a região do Jalapão, que, de forma contínua, configura o Corredor Ecológico da Região do Jalapão (CERJ), reconhecido como Mosaico Jalapão, com a finalidade de reforçar a conservação, por meio da integração das unidades de conservação no Jalapão (Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade ICMBIO, 2014).

A região do Jalapão apresenta importância biológica, principalmente devido à sua biodiversidade e à presença de espécies raras, endêmicas e em processo de extinção. Além disso, a região apresenta parcelas de Cerrado preservado e mananciais importantes para as principais bacias hidrográficas das regiões centro-oeste, norte e nordeste (Conservation International – CI Brasil, 2002; ICMBio, 2014).

No entanto, mesmo com as áreas alvos do CERJ constarem como prioritárias para a conservação pela importância biológica e prioridade de ação governamental “extremamente alta”, há vários fatores tipificados como ameaças ao Cerrado dessa região. Especificamente, os mais graves são: frequência do fogo de causa antrópica e a expansão da fronteira agrícola nas áreas limítrofes sem ordenamento ecológico-econômico (ICMBio, 2014).

3.1.3.1 Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins

A Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT) foi criada por meio do decreto federal S/N de 27/09/2001, com objetivos voltados a conservação e a preservação dos ecossistemas do bioma Cerrado presentes na região, bem como, a realização de pesquisas científicas. Possui uma área total aproximada de 716.306 hectares, contemplando os municípios de Almas, Mateiros, Rio da Conceição, Ponte Alta do Tocantins e Formosa do Rio Preto no estado da Bahia (BRASIL, 2001).

A EESGT é a segunda maior área protegida e a maior estação ecológica no Cerrado (NOGUEIRA et al., 2011). Compõe o maior remanescente de Cerrado protegido por unidades de conservação de proteção integral no Brasil, abrangendo o Mosaico do Jalapão com mais de três milhões de hectares (BARRADAS, 2017).

Segundo ICMBio (2014), a vegetação dominante na região é de Cerrado aberto e campestre, composto basicamente de campo sujo e campo limpo. Outra formação vegetacional encontrada na região são as veredas e campos úmidos ao longo das drenagens e nascentes. Formações florestais são escassas, porém estão presentes em florestas de galeria próximas a drenagens.

Assim como acontece em quase todo o bioma Cerrado, a EESGT sofre anualmente com a ocorrência de incêndios florestais devido ao longo período de estiagem. Através disso existe uma preocupação no desenvolvimento de estratégias voltadas para prevenção, como por exemplo o manejo do fogo.

Como mencionado por Barradas (2017), em 2014 foi aprovado o plano de manejo na EESGT, tendo como objetivos, em um de seus programas de manejo, o uso do fogo como uma estratégia de prevenção e proteção contra incêndios florestais. A atual gestão da EESGT entende que o fogo é um elemento que pode contribuir para o manejo da vegetação (material combustível) e a manutenção das características da ecologia do Jalapão, sendo assim, necessário uma convivência com ele.

3.2 MATERIAL COMBUSTÍVEL

O tipo, quantidade e teor de umidade do material combustível estão relacionados ao comportamento do fogo, especialmente com a intensidade e a velocidade de propagação (WHELAN, 1995). A carga de material combustível determina a quantidade potencial de calor que pode ser liberada durante uma queima, enquanto o tipo e a distribuição dos elementos combustíveis afetam sua inflamabilidade (BAEZA et al., 2002).

Representado pela massa seca do material combustível por unidade de área, a carga, é diretamente proporcional à energia potencial disponível para ser liberada pelo fogo. Desta forma quanto maior a carga de combustível maior será a energia liberada no processo de combustão (CRUZ et al., 2017).

Baeza et al. (2002), ao avaliarem o comportamento do fogo com diferentes acúmulos de combustível, demonstraram que a velocidade de propagação e a intensidade do fogo variaram significativamente com o tempo de acúmulo do combustível, em que os valores obtidos nas áreas com 3 anos de acúmulo foram estatisticamente menores que nas áreas com 9 e 12 anos de acúmulo de combustível.

Na pesquisa de Fernandes, Loureiro e Botelho (2004), a altura da chama e a intensidade do fogo aumentaram com o acúmulo de combustível na superfície. Cruz et al. (2017), em estudo sobre o comportamento do fogo, evidenciaram que a altura da chama foi significativamente correlacionada com a carga de combustível e com a altura do combustível.

A análise elaborada por Cruz et al. (2016), em vegetação com densa camada de indivíduos da família Poaceae na Austrália, mostrou que existe uma relação inversa e estatisticamente significativa entre a carga de combustível e a

velocidade de propagação do fogo, ou seja, um aumento na carga de combustível leva a uma diminuição na velocidade de propagação do fogo.

Combustíveis finos reagem mais rápido às mudanças meteorológicas, especialmente se esses combustíveis estão mortos, e eles desempenham um papel importante nas fases iniciais de todos os incêndios e na propagação da maioria deles (VIEGAS; VIEGAS, 1994).

Incêndios intensos e severos são mais prováveis em fases de vegetação madura e senescente (e.g. RIGGAN et al., 1988; WHELAN, 1995). Na região do Jalapão, grande maioria das espécies vegetais possuem sua fase de senescência ao final da estação seca, mais precisamente nos meses de agosto, setembro e outubro.

De acordo com Trollope e Trollope (2002), a umidade do combustível é normalmente expressa com base na matéria seca e é um fator importantíssimo na determinação da intensidade de um incêndio, pois afeta na facilidade do material entrar em combustão (ignição), a quantidade de combustível consumido e a velocidade de propagação dos diferentes tipos de combustível.

Gorgone-Barbosa et al. (2015), avaliando o comportamento do fogo em área de savana invadida por *Urochloa brizantha*, relatam que um maior teor de umidade no combustível resulta em valores menores para velocidades de propagação, intensidade do fogo e eficiência de combustão.

3.3 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Elementos do clima apresentam uma grande influência no comportamento do fogo, desde a ignição até a propagação e ainda sobre o grau de dificuldade durante a supressão (HEIKKILA; GRONQVIST; JERVÉLIUS, 2010). Uma perspectiva do comportamento potencial de um incêndio está diretamente relacionada às variações meteorológicas (FERNANDES; RIGOLOT, 2007).

Durante a estação chuvosa os incêndios ocorrem naturalmente através de raios, mas estas queimas são menos severas que as da estação seca. Durante a estação seca, os incêndios ocorrem principalmente por meio de atividades antrópicas e são mais intensos, isso pode estar atribuído aos menores valores de umidade relativa do ar e maiores temperatura do ar e períodos de dias sem chuva (PIVELLO, 2011; SOARES; BATISTA; TETTO, 2017).

Para desenvolver qualquer atividade relacionado ao fogo na vegetação, é importante entender a variabilidade do comportamento do fogo em diferentes condições meteorológicas (FERNANDES, 2001).

Essas condições podem variar durante o dia e sazonalmente, por exemplo, a umidade relativa do ar no período da manhã é geralmente maior do que no final da tarde, enquanto a temperatura do ambiente é inversa. Além disso, a umidade relativa do ar apresenta menores valores nos meses da estação seca (TROLLOPE; RONDE; GELDENHUYS, 2004; SOARES; BATISTA; TETTO, 2017).

Em condições meteorológicas sob as quais a queima experimental foi realizada sob combustível de arbustos (principalmente *Ulex parviflorus*) com presença de estrato herbáceo, Baeza et al. (2002) constataram que o teor de umidade do combustível foi o principal fator que controlou a velocidade de propagação do fogo, ao passo que um dos principais aspectos que afetam a umidade da vegetação são as condicionantes meteorológicas antes da queima.

No estudo de Gorgone-Barbosa et al. (2015) a estação em que foram realizadas as queimas prescritas teve grande influência na intensidade do fogo, com valores maiores para o final da estação seca (outubro).

A velocidade do vento afeta a velocidade de propagação do fogo e a altura da chama. Com o aumento das velocidades do vento, além de maior fornecimento de oxigênio, as chamas são direcionadas para o material que ainda não entrou em combustão à frente da linha de fogo, resultando em um pré-aquecimento do combustível (BESSIE; JOHNSON, 1995).

Fernandes, Loureiro e Botelho (2004), ao estudar o comportamento do fogo em áreas com predominância de pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Ait.) em época de verão observaram baixas taxas de velocidade de propagação, atribuindo esse fato ao predomínio de ventos fracos. Cruz et al. (2017) em estudos do comportamento do fogo em vegetação com predomínio de herbáceas na Austrália evidenciaram que a velocidade de propagação do fogo foi significativamente correlacionada com a velocidade do vento.

Cheney, Gould e Catchpole (1993), em estudo nos campos da Austrália evidenciaram que a umidade do ar e do combustível foram os principais fatores determinantes para a velocidade de propagação do fogo, e ainda confirmaram que a carga de combustível influencia outros aspectos do comportamento do fogo, como sua intensidade. A umidade relativa do ar influencia o teor de umidade do

combustível estando positivamente correlacionado (GIONGO et al., 2009) e, portanto, desempenha um papel importante no controle da inflamabilidade de combustíveis finos.

Pesquisas no Parque Nacional Kruger, na África do Sul, mostraram que a umidade relativa do ar teve um efeito negativo altamente significativo na intensidade dos incêndios nas savanas e pastagens africanas (TROLLOPE; TANTON, 1986; TROLLOPE; POTGIETER, 1985).

Gambiza et al. (2005), em estudos na África, concluíram que a velocidade do vento e a umidade relativa do ar influenciaram: i) altura da chama, ii) altura de crestamento e iii) extensão da área queimada. Vários pesquisadores verificaram a estreita relação entre incêndios florestais e fatores meteorológicos e indicam que os principais incêndios florestais ocorreram durante condições com secas prolongadas acompanhadas de altas temperaturas do ar e baixa umidade relativa (RODRÍGUEZ, et al., 2017).

3.4 COMPORTAMENTO DO FOGO

O conhecimento do comportamento do fogo é fundamental para a compreensão dos procedimentos que devem ser adotados ao usar o fogo como uma ferramenta no manejo florestal e também no planejamento de estratégias para combater e controlar incêndios florestais (TROLLOPE; POTGIETER, 1985).

Segundo os mesmos autores, os efeitos do fogo nos ecossistemas naturais são relacionados às respostas dos organismos vivos à liberação de energia térmica através da combustão de material vegetal. As características que influenciam na liberação de energia térmica envolvem o estudo do comportamento do fogo, descrito pela intensidade do fogo, velocidade de propagação da frente de fogo, características da chama e outros fenômenos relacionados.

3.4.1 Velocidade de propagação

A taxa ou velocidade de propagação do fogo é encontrada através do tempo que o fogo leva para atingir uma distância conhecida (SOARES; BATISTA; TETTO, 2017). De acordo com Gambiza et al. (2005), este método tem como benefício a facilidade nas tomadas e a simplicidade de processamento dos dados.

É imprescindível o levantamento de velocidade de propagação em avaliações sobre o comportamento do fogo, uma vez que esta variável é utilizada como variável de entrada para estimativa da intensidade do fogo, além disso a mesma se correlaciona, na maioria dos casos significativamente, com outras variáveis de comportamento. Luis et al. (2004), ao avaliar o comportamento do fogo em vegetação arbustiva na Espanha encontrou a maior velocidade de propagação na área onde apresentou os maiores valores de temperatura do ar e velocidade do vento.

Camargos (2008), em estudo do comportamento do fogo em queimas a favor do vento, no final da estação seca em uma área de Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, Minas Gerais, determinou valores de velocidade de propagação variando entre 0,010 a 0,024 m.s⁻¹.

3.4.2 Altura de chama

De acordo com Trollope e Trollope (2002) um importante indicador da energia térmica liberada durante um incêndio é a altura perpendicular das chamas a partir do nível do solo. A altura da chama é determinada pela interação turbulenta entre o movimento do vento local através da zona da chama e as forças de empuxo vertical geradas pela energia liberada dentro da zona da chama (ALBINI, 1976).

Embora útil para planejamento de combate e avaliação do comportamento do fogo, as alturas de chama são geralmente altamente caóticas e difíceis de determinar com precisão, particularmente sob condições de incêndios florestais (CRUZ et al., 2017).

Gambiza et al. (2005) em queima feita em vegetação predominantemente arbustiva/herbácea no sul da África no início da estação seca encontraram 3,12 m para altura média de chamas. Embora a altura das chamas em vegetação herbácea seja algo bastante variável, em geral, tendem a não atingir alturas maiores do que 4 a 5 m (CHENEY; SULLIVAN, 2008).

3.4.3 Temperatura máxima na zona de combustão

Altas temperaturas podem levar a altas taxas de mortalidade de plantas, pois os tecidos vegetais morrem a 60 °C (BOVA; DICKINSON, 2005). A mortalidade de

sementes e brotos também pode aumentar após a exposição a altas temperaturas, o que afetaria negativamente a regeneração da vegetação nativa.

A análise termográfica é uma técnica de diagnóstico não destrutivo que utiliza câmeras e sensores infravermelhos para medição de temperatura e distribuição de calor (e.g. IBARRA-CASTANEDO; TARPANI; MALDAGUE, 2013; USAMENTIAGA, et al., 2014). Embora seja uma tecnologia relativamente recente, já existem diversos estudos sobre o uso de ferramentas termográficas, porém, para análise da combustão em áreas florestais, esta técnica ainda é pouco difundida (e.g. HIERS et al., 2009; LOBODA et al., 2015; O'BRIEN et al., 2016)

Fidelis et al. (2010) estudando o comportamento do fogo em área de pastagem natural pertencentes aos campos sulinos, vegetação predominante composta por gramíneas, encontraram os maiores valores de temperatura de combustão, próximo ao solo, entre 400 e 600 °C em que essas temperaturas se correlacionaram positivamente com a carga de combustível.

3.4.4 Intensidade do fogo

A intensidade do fogo é uma das propriedades mais importantes sobre as características do comportamento do fogo, pois mensura a quantidade de calor liberada durante a combustão e é, portanto, um indicador útil de seu potencial impacto sobre as plantas (GAMBIZA et al., 2005).

A intensidade do fogo é definida como o produto do calor de combustão disponível por unidade de área do solo e a velocidade de propagação do incêndio. Em outras palavras é a quantidade de energia térmica liberada por unidade de comprimento da frente de fogo por unidade de tempo (BYRAM, 1959).

Estimar a intensidade do fogo não é algo tão simples, visto que as informações advêm de experimentos de campo, o que demanda muito tempo e logística para tal. Ainda são utilizadas informações de algumas variáveis de difícil obtenção, além disso segundo Govender, Trollope e Van Wilgen (2006), em uma mesma queima pode-se observar uma grande variação na intensidade do fogo, especialmente se as condições meteorológicas e do combustível estiverem propícias a um grande incêndio.

Trollope e Trollope (2002), afirmam que o cálculo da intensidade do fogo com a fórmula de Byram provou ser muito útil em estudos de comportamento do

fogo. Van Wagner (1973) descobriu que a intensidade do fogo estava significativamente correlacionada com a altura da queima letal das copas de coníferas.

Luis et al. (2004), estudando o comportamento do fogo em vegetação arbustiva na Espanha encontraram maior valor de intensidade ($343,19 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) nas áreas onde havia um maior acúmulo de combustível e características meteorológicas apresentando maiores valores de temperatura do ar e velocidade do vento.

Fidelis et al. (2010) estudando o comportamento do fogo em área de pastagem natural pertencentes aos campos sulinos, vegetação predominante composta pela família poaceae, verificaram que o combustível fino apresentou a maior correlação com a intensidade do fogo ($r = 0,86$). Além dele, outras variáveis também se correlacionaram fortemente com a intensidade, por exemplo a altura da chama ($r = 0,81$).

Gambiza et al. (2005) em vegetação com predomínio de arbustos e uma camada de extrato herbáceo no sul da África evidenciaram que a intensidade do fogo apresentou uma correlação significativa e positiva com a altura da chama ($r = 0,86$).

3.4.5 Calor liberado

O calor por unidade de área mede a energia total liberada por um incêndio por área conhecida (GOVENDER; TROLLOPE; VAN WILGEN, 2006). De acordo com Soares, Batista e Tetto (2017), o calor liberado por unidade de área pode ser estimado por meio da intensidade do fogo, simplesmente dividindo pela velocidade de propagação. Outra forma de se calcular é multiplicando o poder calorífico pela quantidade de material combustível disponível.

3.4.6 Consumo de combustível

O consumo do material combustível trata-se da quantidade de material combustível que foi consumido pelas chamas durante a passagem do fogo na vegetação, sendo, um parâmetro essencial para a realização de queimas controladas (BROWN; OBERHEU; JOHNSTON, 1982).

A quantificação do material residual tem por objetivo verificar a quantidade de material combustível não consumido pela passagem do fogo. Com esses valores determina-se a eficiência de queima, definida pelo percentual de material consumido pelo fogo (SEGER et al., 2013; SOARES; BATISTA; TETTO, 2017).

De acordo com Seger et al. (2013), a variação no consumo de material combustível está relacionada com fatores meteorológicos, tipo de vegetação e a relação entre o material vivo e morto além disso o teor de umidade do combustível.

Trollope e Trollope (2002) afirma que à medida que se aumenta a umidade do material combustível diminui as porcentagens de consumo, obtendo então uma relação inversamente proporcional para estas variáveis.

De acordo com Miranda, Neto e Neves (2010) a disponibilidade de combustível, sua composição e distribuição, associadas ao comportamento do fogo e às condições meteorológicas no momento da queima, resultam em diferentes padrões de consumo de combustível.

Vega (2000) destaca que em queimas prescritas o ideal é que o consumo do combustível se mantenha entre 50 e 70%, de forma a prevenir a erosão e a lixiviação dos nutrientes disponibilizados pela combustão, importantes para a qualidade do solo e regeneração da vegetação.

Reyes (2017) avaliando o comportamento do fogo em áreas de pastagem ao final da estação seca em diferentes períodos do dia, obteve um valor médio de 71% para consumo do material combustível.

3.5 MODELOS PARA PREDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO

Um modelo pode ser caracterizado pela formulação matemática baseada em hipóteses, com a finalidade de definir uma equação que possa estimar quantitativamente os objetos da análise a um determinado nível de probabilidade (PEREIRA et al., 2018). De acordo com Wastl et al. (2012), os modelos matemáticos são muito úteis, principalmente, por estimarem os valores em tempo real e além disso, poderem ser utilizados para previsões futuras.

Os modelos de propagação do fogo podem ser classificados como: 1) modelos teóricos originados das leis básicas que governam a mecânica dos fluidos, combustão e transferência de calor; 2) Os modelos semi-físicos propostos por expressões teóricas simples e gerais que são complementadas através de

experimentos; 3) modelos classificados como empíricos, obtidos com base em informações extraídas de dados experimentais, aplicados em situações onde as condições são idênticas àsquelas usadas nos dados da formulação e teste do modelo (ALMEIDA et al., 2008; SOARES; BATISTA; TETTO, 2017).

O modelo para descrever o comportamento do fogo é idealizado através de condições de propagação do fogo e características que exercem uma certa influência na dinâmica do mesmo (SOARES; BATISTA; TETTO, 2017). É uma ferramenta essencial na pesquisa para o entendimento das suas características e também em tomadas de decisão nas atividades relacionadas a prevenção e combate de incêndios florestais.

Experimentos dinâmicos de modelagem podem facilitar investigações mais complexas de reações e interações vegetação-clima-fogo (HARRIS et al., 2016). Ainda de acordo com os autores, modelos empíricos têm como objetivos construir modelos estatísticos do comportamento do fogo baseados na atividade de fogo, nas condições meteorológicas predominantes e características do combustível.

De acordo com Cruz, Alexander e Plucinski (2009), a modelagem empírica do comportamento do fogo, resulta em avanços significativos na ciência de incêndios florestais, produzindo diversas ferramentas de pesquisa e apoio à decisão operacional.

O fenômeno que caracteriza um incêndio florestal envolve interações complexas entre processos bióticos e abióticos (HARRIS et al., 2016). A modelagem matemática pode ser útil para simular e fazer previsões desses processos que envolvem o fogo (ROTHERMEL, 1972).

Os atuais modelos de comportamento e efeitos do fogo no Cerrado são baseados em diferentes abordagens e demonstram diferentes graus de complexidade (GOMES; MIRANDA; BUSTAMANTE, 2018). Estudos de Mistry e Berardi (2005); Hoffmann et al. (2012); Pereira Júnior et al. (2014) usaram variáveis de combustível e clima para prever o comportamento do fogo.

3.6 USO E APLICAÇÕES DOS ESTUDOS SOBRE O COMPORTAMENTO DO FOGO

3.6.1 Queima prescrita

No Cerrado são registradas grandes ocorrências de incêndios florestais e essa frequência leva à criação de programas e projetos voltados para prevenção, combate e quantificação dos incêndios. Um exemplo de práticas para prevenção dos incêndios florestais é a realização de queimas controladas para manejo de combustível.

A queima prescrita é caracterizada por uma aplicação planejada do fogo em combustíveis, tanto no estado natural como alterado, sob determinadas condições meteorológicas, umidade do material, entre outros, de tal forma que o mesmo seja confinado a uma área pré-determinada e produza a intensidade de calor e a velocidade de propagação necessária para favorecer os objetivos do manejo (WADE et al., 1989; SOARES, 1995; MONTIEL et al., 2010; SOARES; BATISTA; TETTO, 2017).

Uma queima prescrita busca efeitos bem definidos que irão cumprir um ou mais objetivos do manejo. Esses objetivos são atingidos quando a queima é confinada em áreas seguindo procedimentos operacionais previamente determinados. A redução do risco de incêndio frequentemente é o principal motivo para o uso de queimadas prescritas (HAINES; BUSBY; CLEAVES, 2001). Espera-se que o manejo do combustível, através dessas, diminua a extensão dos incêndios florestais e seus danos, principalmente diminuindo a intensidade do fogo e aumentando a eficiência da supressão de incêndios (FERNANDES; LOUREIRO; BOTELHO, 2004).

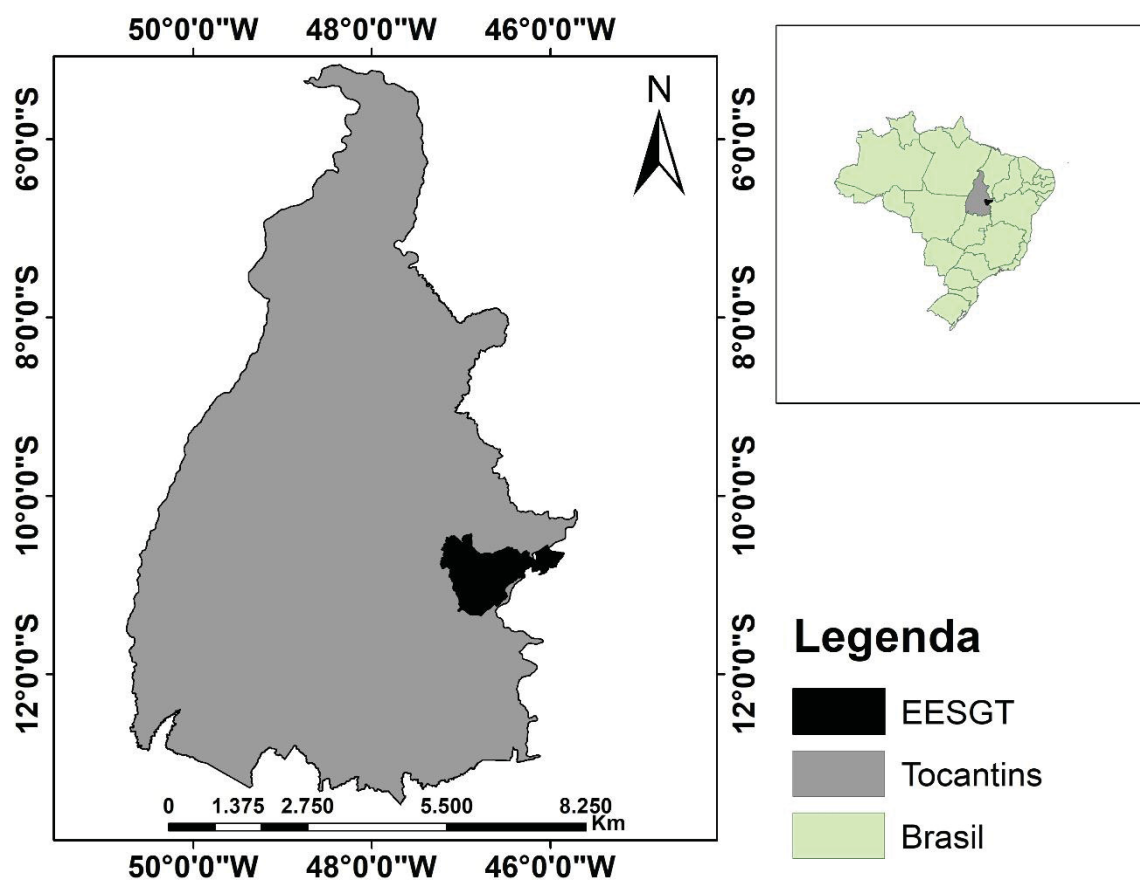
Para a região do Cerrado, a atividade de queima deve ocorrer ao final da estação chuvosa, durante os períodos em que as condições de temperatura e umidade do ar são propícias a baixas taxas de liberação de calor e eliminação seletiva do material combustível, com intuito de limitar a extensão e a gravidade dos incêndios que podem ocorrer no final do verão (BAEZA et al., 2002; FERNANDES; BOTELHO, 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT) (FIGURA 2), unidade de conservação de proteção integral, com maior parte de sua área localizada no estado do Tocantins.

FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA DO TOCANTINS



FONTE: O autor, 2019

A EESGT tem seu ponto central localizado na latitude 10°54'09,70\" S e longitude 46°41'49,65\" O, estando inserida dentro da área de abrangência do bioma Cerrado. De acordo com Arruda e Von Behr (2002), as formações de vegetação de Cerrado do tipo campestre (denominadas de Savana Parque) são predominantes na região (FIGURA 3).

FIGURA 3 - CARACTERÍSTICAS DA VEGETAÇÃO PREDOMINANTE DA ÁREA DE ESTUDO

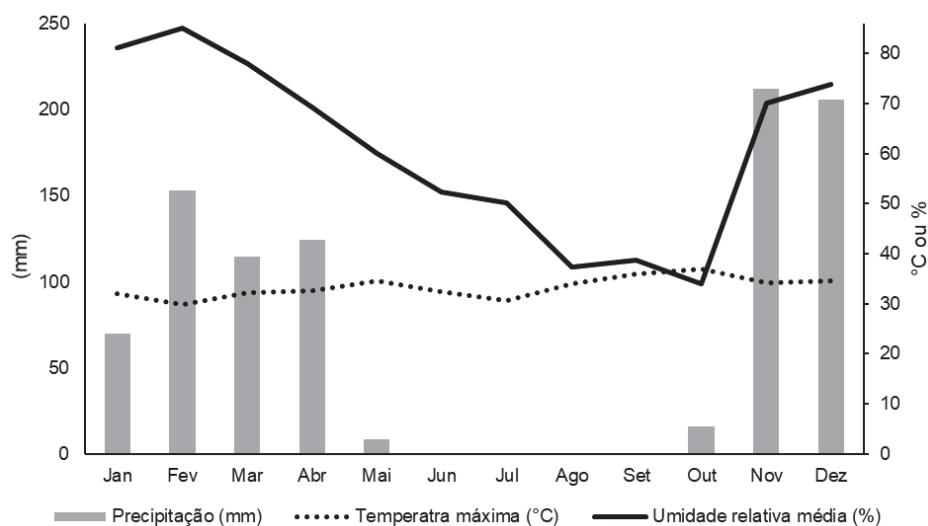


Foto: G. R. van der Werf, 2019

A EESGT apresenta características climáticas do tipo tropical, duas estações bem definidas, com os maiores índices pluviométricos registrados nos meses de novembro e dezembro (RIBEIRO; WALTER, 1998). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da Região da EESGT é do tipo Aw, clima tropical de savana com forte precipitação anual superior à evapotranspiração potencial anual (SEPLAN, 2013).

Na FIGURA 4 são apresentados os dados meteorológicos do ano de 2017 registrados pela Estação Automática do município de Mateiros (TO), a cerca de 75 km de distância das Unidade de Amostragem de Dados (UAD).

FIGURA 4 - DADOS METEOROLÓGICOS DA ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DO MUNICÍPIO DE MATEIROS-TO (2017)



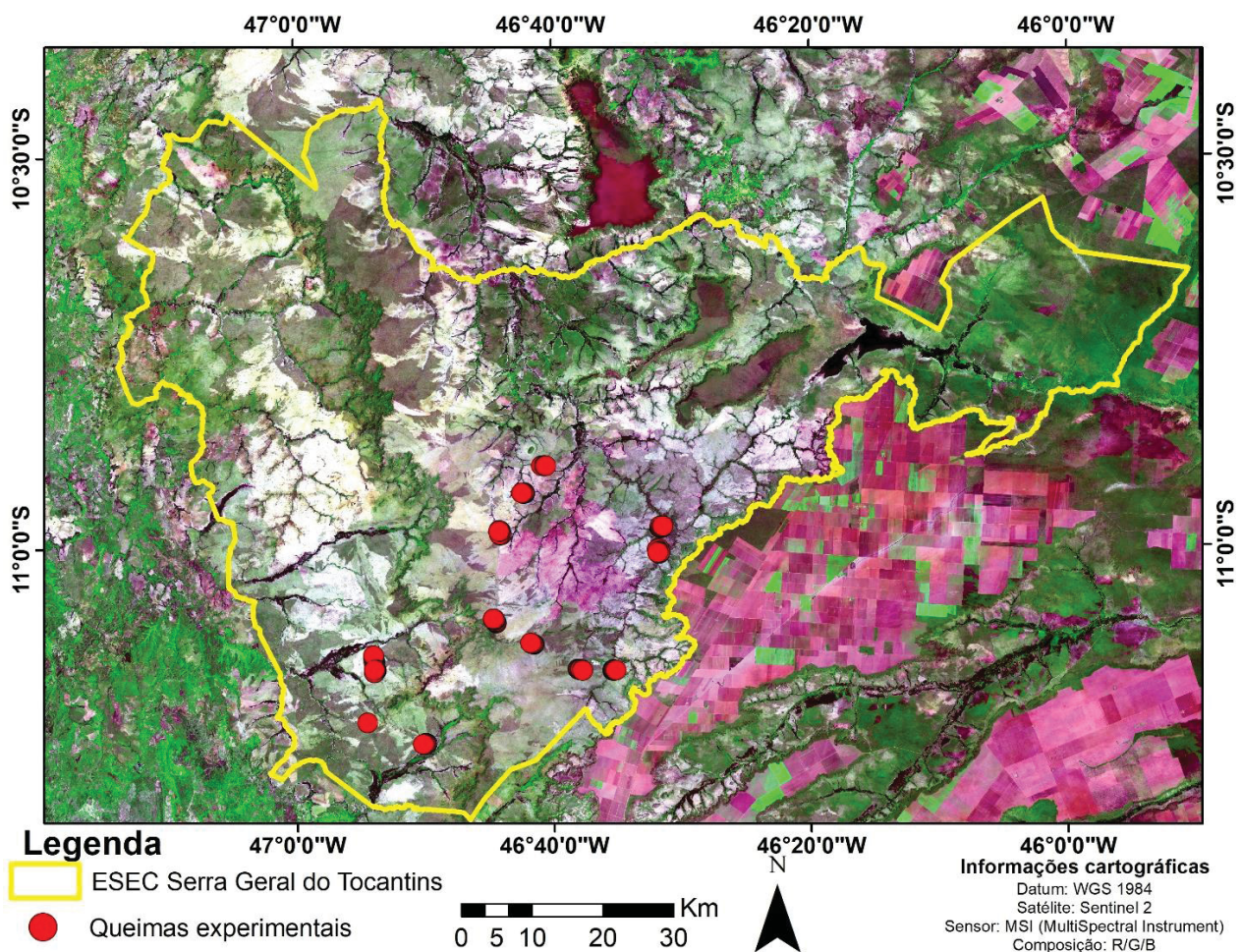
FONTE: Adaptado de INMET, 2018

Observa-se que nos meses de junho a outubro (FIGURA 4) há uma queda substancial nos valores de umidade relativa do ar e de pluviosidade, ao passo que para a variável temperatura máxima, não existe uma oscilação substancial nos valores (INMET, 2018).

4.2 LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

As queimas experimentais foram realizadas na porção centro-sul da EESGT (FIGURA 5). Justifica-se este fato pela logística, uma vez que a Estação Ecológica abrange uma grande área e com presença de dunas dificultando a acessibilidade aos locais.

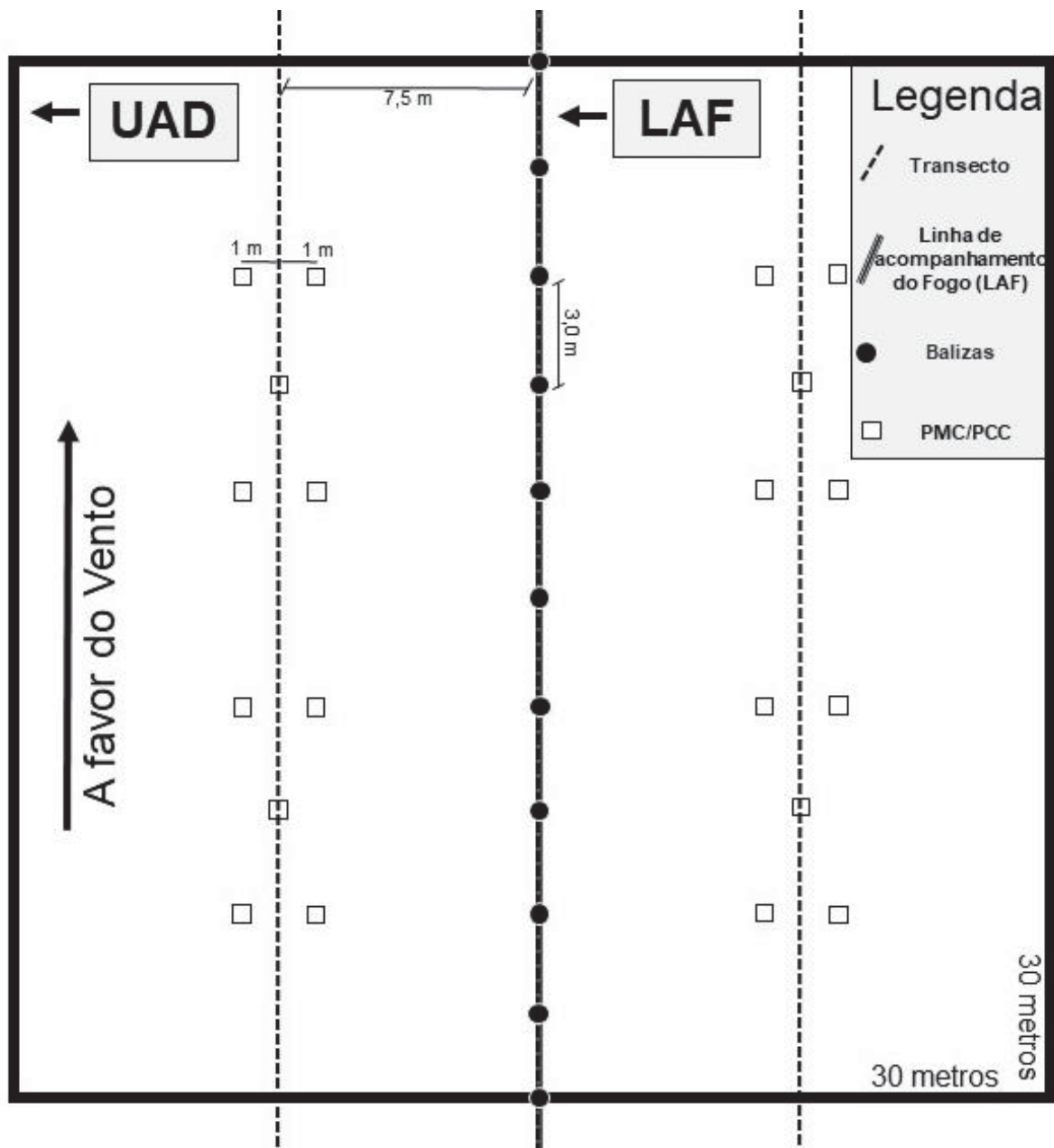
FIGURA 5 - LOCAIS DE REALIZAÇÃO DAS QUEIMAS EXPERIMENTAIS



As Unidades de Amostragem de Dados – UAD (FIGURA 6), foram delimitadas por um quadrado com arestas de 30 m, totalizando 900 m² de área. No

interior de cada UAD foram sorteadas oito parcelas para coleta de material combustível – PMC; oito parcelas para coleta das variáveis após a passagem do fogo, incluindo consumo de combustível – PCC e foram distribuídas dez balizas graduadas em uma linha de acompanhamento do fogo – LAF, com distância de 3 metros entre cada baliza.

FIGURA 6 - UNIDADE DE AMOSTRAGEM DE DADOS (UAD) UTILIZADA PARA A COLETA DE DADOS

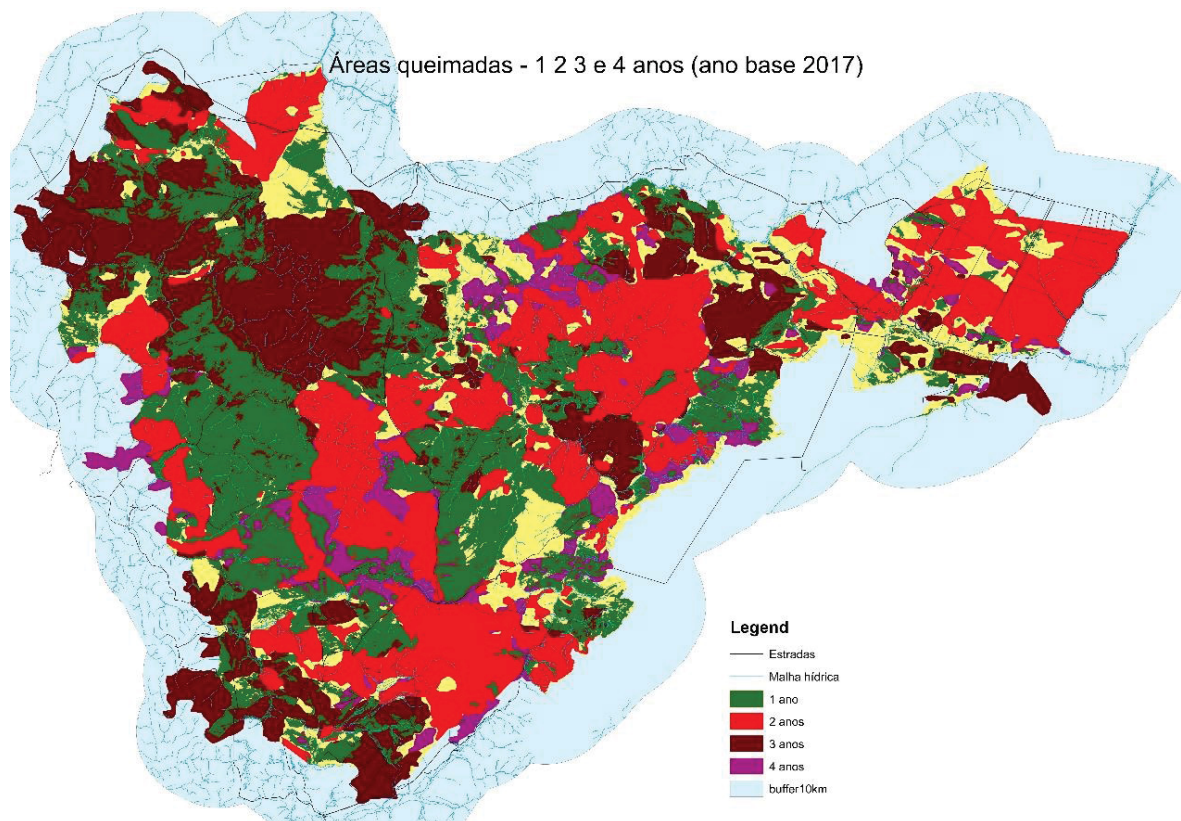


FONTE: O autor, 2019

4.3 SISTEMA AMOSTRAL

Com o objetivo de testar a hipótese das influências meteorológicas no comportamento do fogo, foram realizadas queimas experimentais em quatro meses no ano de 2017 (junho, julho, agosto e setembro). A hipótese sobre a influência das características do combustível foi testada através das informações coletadas em áreas com diferentes períodos sem queima (anos sem queima), compreendendo quatro situações: áreas com 1 ano sem queima (área queimada em 2016), com 2 anos sem queima (área queimada em 2015), com 3 anos sem queima (área queimada em 2014) e 4 anos sem queima (área queimada em 2013) (FIGURA 7).

FIGURA 7 - ÁREAS COM DIFERENTES PERÍODOS SEM QUEIMA ENTRE OS ANOS DE 2013 A 2016 NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA SERRA GERAL DO TOCANTINS (EESGT)



FONTE: Gestão da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (2017)

A identificação das áreas com diferentes tempos sem queima foi realizada através da utilização de um mapa elaborado com base em imagens de satélite nos levantamentos realizados (classificação de áreas queimadas via imagem de satélite) pela gestão da EESGT. Nesse caso não é possível distinguir as características do fogo (se uma queima controlada ou incêndio) que passou nessas áreas, assim para efeito nesse trabalho, as áreas relacionadas aos diferentes anos sem queima foram atingidas por qualquer tipo de fogo.

Foram realizadas oito repetições para as quatro classes de áreas sem queima para cada um dos meses da estação seca, totalizando 128 unidades de amostragem de dados.

4.4 VARIÁVEIS AMOSTRADAS E PROCEDIMENTOS ADOTADOS

4.4.1 Material combustível

Nesta pesquisa, o combustível foi considerado como todo o material vegetal, vivo ou morto, acima do solo, capaz de entrar em ignição ou queimar (SOARES; BATISTA; TETTO, 2017).

Antes da coleta do combustível foram mensuradas duas alturas de herbáceas e da manta em cada parcela, e posteriormente calculada a média. A metodologia utilizada na coleta do material combustível foi por “amostragem destrutiva”, tradicionalmente empregada em pesquisas similares (e.g. BROWN; OBERHEU; JOHNSTON, 1982; BATISTA, 1990; RIBEIRO, 1997; BEUTLING et al., 2012; SEGER, 2015).

Foi coletada toda vegetação dentro da parcela de material combustível (PMC) (0,5 x 0,5 m) menor do que 1,80 m de altura, sendo classificada em material vivo (em plenas condições fisiológicas indicado pela coloração verde), material morto e categorizado de acordo com a seguinte classificação diamétrica: material herbáceo, material com diâmetro <0,70 cm; com diâmetro entre 0,71 a 2,5 cm e; material com diâmetro entre 2,51 a 7,6 cm (BROWN; OBERHEU; JOHNSTON, 1982).

O material coletado teve sua massa determinada com auxílio de uma balança digital e parte desse combustível foi acondicionado em saco de papel *kraft*, etiquetado e posteriormente seco em estufa com circulação de ar e temperatura fixada em 75 °C por 48 horas, para determinação do teor de umidade, conforme metodologia descrita por Batista (1990).

O levantamento sobre a caracterização e quantificação do material combustível resultou em informações sobre altura de herbáceas antes da queima (HHER); altura da manta antes da queima (HMAN); a massa de herbácea viva (MHRV) sendo a quantidade de herbáceas classificadas como vivas; massa de herbácea morta (MHRM) sendo a quantidade de herbáceas classificadas como mortas;

massa de herbácea total (MHRT) a soma das quantidade de herbáceas vivas e mortas; massa de combustível vivo (MCV) sendo (herbáceas; <0,7; entre 0,71 e 2,5 e entre 2,51 e 7,6 cm de diâmetros) classificado como vivo; massa de combustível morto (MCM) sendo (herbáceas; <0,7; entre 0,71 e 2,5 e entre 2,51 e 7,6 cm de diâmetros) classificado como morto; massa de combustível total (MCT) sendo a soma das massa de combustíveis vivo e morto; umidade do combustível vivo (UCV) e; umidade do combustível morto (UCM). Todas as informações coletadas e métodos utilizados estão em acordo com diversos trabalhos na literatura (e.g. FERNANDES; LOUREIRO; BOTELHO, 2004; CONCEIÇÃO; PIVELLO, 2011; SEGER et al., 2013; CRUZ et al., 2016).

4.4.2 Variáveis meteorológicas

No momento da queima foram realizados levantamentos sobre as condições meteorológicas através de uma estação meteorológica portátil (Kestrel® 4000 Pocket Weather Tracker™) situada a uma distância de 30 metros da zona de combustão para não haver interferências sobre as informações. As variáveis levantadas foram temperatura do ar (TAR), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (VV). As medições foram pontuais, anotadas assim que a linha de fogo tocava uma das balizas da UAD.

4.4.3 Comportamento do fogo

As coletas das informações sobre as variáveis do comportamento do fogo foram realizadas no transecto central (FIGURA 4) onde foram instalados 10 pontos de observações com a fixação de balizas graduadas, equidistantes três metros, no sentido longitudinal da UAD (linha de acompanhamento do fogo - LAF).

No ato da queima, em cada UAD, foram realizadas observações sobre as características do comportamento do fogo sendo traduzida nas seguintes variáveis conforme estudos realizados internacionalmente e recomendados por diversos autores (e.g. GARNICA; GONZALEZ; SOLORIO, 2006; KUÇUK et al., 2008; BETLING 2009; SEGER et al., 2013): altura de chama (HC), velocidade de propagação (VP), temperatura máxima da zona de combustão (TC), intensidade da

linha de fogo (INT), e calor liberado por unidade de área (CLB). Além dessas, foram realizadas medições no combustível residual após a passagem do fogo.

A ignição do material combustível nas unidades de amostragem foi realizada com uma linha de fogo ao longo dos 30 m, com uma distância de cerca de 10 m da borda para fora da UAD, de forma a evitar possíveis efeitos do combustível utilizado pelo pinga-fogo na ignição da vegetação. O fogo se propagou livremente a favor do vento ao longo da UAD. O comportamento do fogo foi monitorado por um observador, posicionado na lateral da linha de combustão, responsável por cronometrar a chegada da base da chama aos pontos de leitura das variáveis (balizas) que consistiram na estimativa da velocidade de propagação do fogo e fazer as leituras visuais de altura da chama.

4.4.3.1 Velocidade de propagação

A Velocidade de propagação (VP) foi obtida in loco com auxílio de um cronômetro e registrada através do tempo que a linha de fogo percorreu a distância de 3 metros, através de balizadas fixas e equidistantes previamente demarcadas em cada parcela, com valores expressos em m.s^{-1} , obtendo-se um valor médio para cada UAD.

4.4.3.2 Altura das chamas

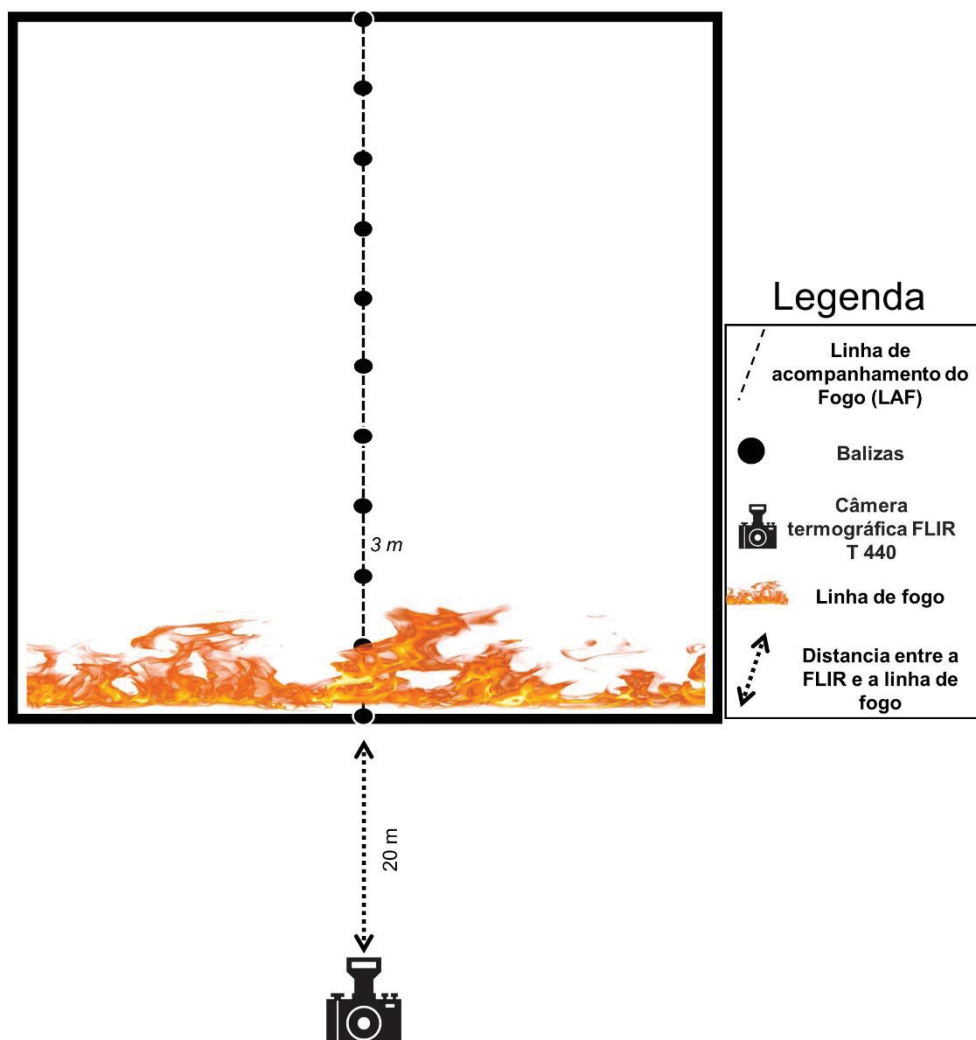
A altura das chamas (HC) foi obtida in loco através de uma estimativa visual, com o auxílio de uma régua graduada (balizas), da altura média alcançada pelas chamas com valores expressos em metros. As balizas eram graduadas a cada 50 cm, identificadas por coloração diferente.

4.4.3.3 Temperatura da zona de combustão

Com auxílio de uma câmera termográfica FLIR® (modelo T440) foram registradas termofotografias durante o processo de queima. Os registros termográficos eram efetuados no momento que a linha de fogo tocava a baliza (FIGURA 8), em que o técnico estava alocado à uma distância de 20 metros da linha de fogo. Assim, para cada unidade de amostragem de dados eram registrados 10

termografias. Por motivos de ergonomia e padronização dos dados, o técnico permanecia em posição ereta e a câmera se situava à altura do peito.

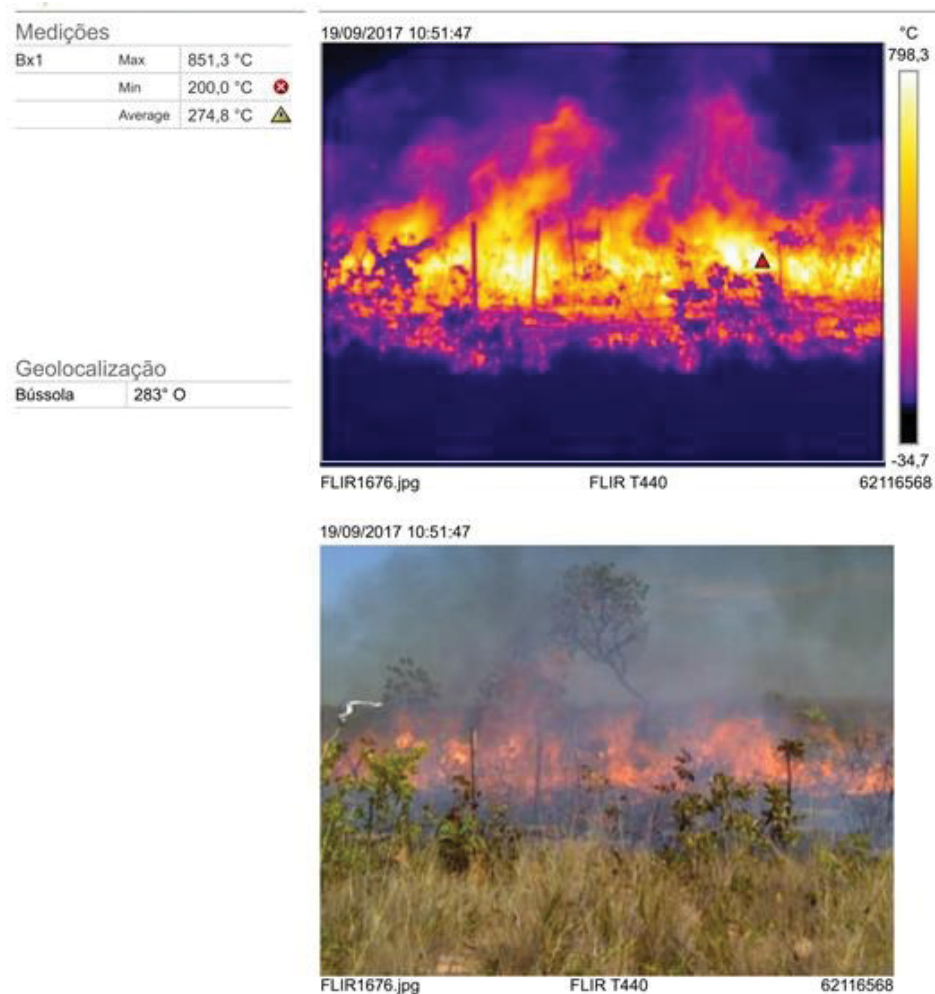
FIGURA 8 - ESQUEMA IMPLANTADO PARA O REGISTRO TERMOGRÁFICO DAS QUEIMAS EXPERIMENTAIS EM UMA UNIDADE AMOSTRAL



FONTE: O autor, 2019

A câmera não permanecia em um local fixo, sendo deslocada 3 metros para frente toda vez que o fogo tocava uma baliza, para que assim, a distância entre a câmera e baliza fosse sempre a mesma, ou seja, de 20 metros. A FIGURA 9 ilustra o relatório da câmera termográfica FLIR de onde eram retiradas as informações de temperatura da zona de combustão.

FIGURA 9 - MODELO DO RELATÓRIO PARA OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE TEMPERATURA MÁXIMA NA ZONA DE COMBUSTÃO



FONTE: O autor, 2019

Após a captura dos registros fotográficos, as informações de temperatura da zona de combustão (TC) em °C, foram geradas e processadas através do *software* computacional ©FLIR Tools, para tomada da temperatura máxima da zona de combustão (FIGURA 9).

4.4.3.4 Intensidade do fogo

Para estimar a intensidade da linha de fogo foi utilizada a fórmula proposta por Byram (1959) comumente evidenciada na literatura (e.g. VAN WAGNER, 1974; KEELEY, 2009; JOHNSTON et al., 2017; SCHMIDT et al., 2017; WOTTON; FLANNINGAN; MARSHALL, 2017;) sendo numericamente o produto da quantidade de combustível disponível pelo seu poder calorífico e pela velocidade de propagação do fogo, valores expressos em $\text{kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$.

Para os cálculos da intensidade do fogo utilizou-se um valor médio do poder calorífico de $3.875 \text{ kcal.kg}^{-1}$. O valor utilizado neste trabalho foi proposto por Griffin e Friedel (1984) e utilizado no trabalho de Seger et al. (2013).

4.4.3.5 Calor liberado por unidade de área

O calor liberado por unidade de área foi estimado através da divisão da intensidade do fogo pela velocidade de propagação, em que os valores eram expressos em kcal.m^{-2} (SOARES; BATISTA; TETTO, 2017).

4.4.3.6 Avaliação após a passagem do fogo

Após a passagem do fogo foram alocadas as parcelas para estimativa do efeito do fogo no material combustível. Foram realizadas medições de altura das herbáceas e da manta, posteriormente feita a coleta e pesagem de todo material vegetal residual dentro do gabarito ($0,5 \times 0,5 \text{ m}$) com intuito de obter a carga de combustível que foi consumido pelo fogo, calculado através da diferença entre as cargas de combustível pré e pós-queima (e.g. BROWN; OBERHEU; JOHNSTON, 1982; BEUTLING et al., 2012).

Mediante a descrição no parágrafo anterior foi possível então levantar informações sobre as seguintes variáveis: altura de herbáceas pós fogo (HHERP); altura da manta pós fogo (HMANP); massa residual (MR) e consumo de combustível (CONS).

4.5 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados coletados deste trabalho foram organizados em planilhas eletrônicas no Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo – CeMAF. Foram realizados testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para cada variável. As variáveis que não apresentaram distribuição normal foram transformadas para se adequarem. Posteriormente, foi feita análise de variância, com base em modelo fatorial considerando: quatro etapas (meses); quatro períodos sem queimas e oito repetições de forma inteiramente ao acaso, seguida do teste Tukey ($p < 0,05$).

Foi utilizado um *software* estatístico para gerar as correlações e os ajustes dos modelos, referentes às variáveis de material combustível, características meteorológicas e comportamento do fogo. Para as correlações foi utilizado o método de *Pearson*.

As regressões lineares foram realizadas pelo método *stepwise* a fim de gerar equações de predição para as variáveis de comportamento do fogo utilizando dados das características do combustível, meteorológicas e também de variáveis do comportamento do fogo. A seleção das equações foi baseada nos seguintes critérios: maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e menor erro absoluto, sendo esses também utilizados por Beutling (2009) e Giongo et al. (2009).

Foram ajustados modelos utilizando três variáveis dependentes sendo altura de chama, velocidade de propagação e intensidade, todas as outras variáveis tanto de combustível (HHER, HMAN, MHRV, MHRM, MHRT, MCV, MCM, MCT, UCV, UCM) como meteorológicas (VV, TAR, URA) foram utilizadas como independentes.

Para um melhor entendimento e objetivando estimar o comportamento do fogo através de variáveis de fácil medição, foi realizado o ajuste dos modelos para a variável intensidade em três maneiras distintas: 1) com velocidade de propagação nas variáveis independentes; 2) com altura de chama nas variáveis independentes; 3) sem incluir as variáveis velocidade de propagação e altura de chama nas variáveis independentes.

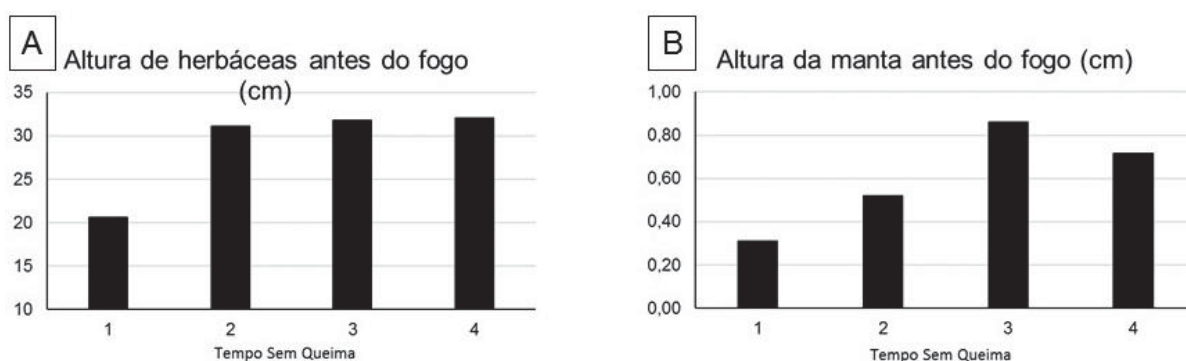
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MATERIAL COMBUSTÍVEL

Todos os dados referentes ao material combustível que foram utilizados na análise no comportamento do fogo (um dos objetivos desse trabalho) advieram do estudo de Moreira (2019).

Na FIGURA 10 estão apresentados os gráficos referentes às alturas médias de herbáceas (FIGURA 10A) e da manta (FIGURA 10B), ambas variáveis coletadas antes da passagem do fogo nos quatro distintos períodos sem queima. É possível se observar que as variáveis apresentaram menores valores nas áreas com 1 ano sem queima, sendo 20,5 cm para altura de herbáceas e 0,30 cm para altura da manta. Ambas as variáveis também apresentaram maiores valores nas áreas com 3 e 4 anos sem queima, com valores respectivamente de 31,7 e 32,0 cm.

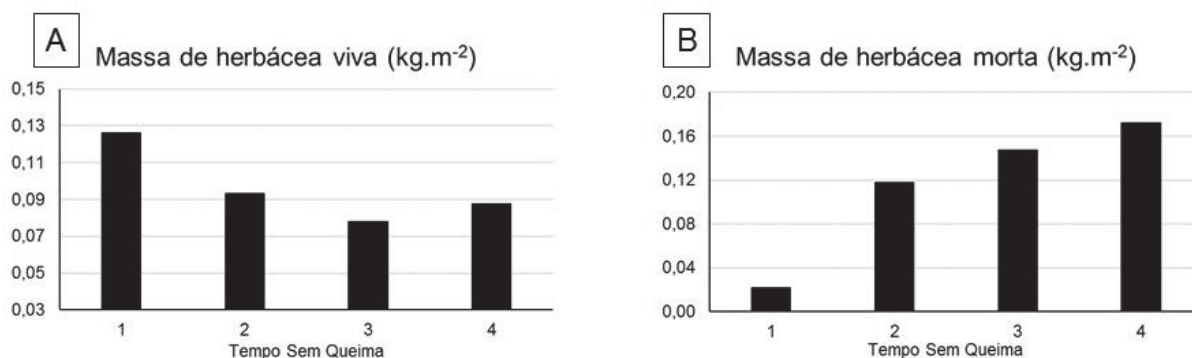
FIGURA 10 - ALTURAS DA VEGETAÇÃO HERBÁCEAS (A) E ALTURA DA MANTA (B) DE MATERIAL COMBUSTÍVEL ANTES DA PASSAGEM DO FOGO



FONTE: Adaptado de Moreira (2019).

Na FIGURA 11 estão apresentados os resultados da variação da massa de herbácea viva (MHRV) (FIGURA 11A) e da massa de herbácea morta (MHRM) (FIGURA 11B) nas áreas com diferentes tempos sem queima. Comparando-se a massa das herbáceas vivas com as mortas em função do tempo sem queima, observa-se um comportamento inverso das duas variáveis. Nas áreas amostradas, o maior valor para massa de herbáceas viva foi de 0,126 kg.m⁻² em 1 ano sem queima, e de herbácea morta foi de 0,172 kg.m⁻² em 4 anos sem passagem do fogo.

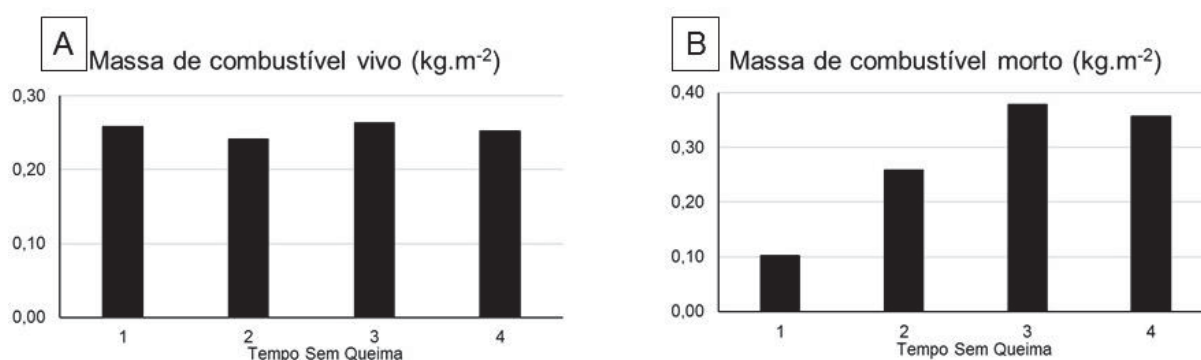
FIGURA 11 - MASSAS DE HERBÁCEAS VIVA (A) E MORTA (B) ANTES DA PASSAGEM DO FOGO



FONTE: Adaptado de Moreira (2019).

Na FIGURA 12 estão apresentados os dados para as variáveis de massa de combustível vivo (MCV) e massa de combustível morto (MCT). A variável MCV (FIGURA 12A) apresentou poucas diferenças entre os tratamentos, com o maior valor nas áreas com 3 anos sem queima ($0,263 \text{ kg.m}^{-2}$) e o menor valor nas áreas com 2 anos sem passagem do fogo ($0,241 \text{ kg.m}^{-2}$). Para a variável MCM (FIGURA 12B), os maiores valores foram evidenciados nas áreas com 3 e 4 anos sem queima ($0,378$ e $0,357 \text{ kg.m}^{-2}$, respectivamente) e o menor valor foi observado para áreas com 1 ano sem queima ($0,102 \text{ kg.m}^{-2}$).

FIGURA 12 - MASSAS DE COMBUSTÍVEL VIVO (A) E MORTO (B) ANTES DA PASSAGEM DO FOGO

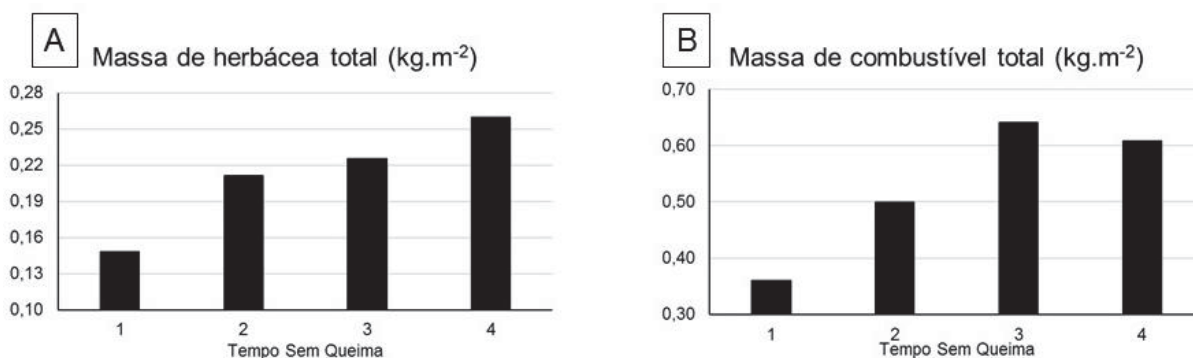


FONTE: Adaptado de Moreira (2019).

Os valores das variáveis de massa de herbácea total (MHRT) e massa de combustível total MCT são apresentadas na FIGURA 13. MHRT apresentou o maior valor nas áreas com 4 anos sem queima ($0,260 \text{ kg.m}^{-2}$). O menor valor foi evidenciado em 1 ano sem queima ($0,148 \text{ kg.m}^{-2}$). Os resultados de MCT (FIGURA 13B) mostram os maiores valores nas áreas com 3 e 4 anos sem queima ($0,641$ e $0,609 \text{ kg.m}^{-2}$, respectivamente) e o menor valor em áreas com 1 ano sem passagem

do fogo ($0,360 \text{ kg.m}^{-2}$). Nota-se um aumento da massa de combustível (FIGURA 13A) em relação à massa de herbácea (FIGURA 13B). Isso se deve ao fato de que a massa de combustível total engloba todas as classes de material combustível: herbáceas, e demais materiais de classes diamétricas $<0,7$, $0,7 - 2,5$ e $2,51 - 7,6 \text{ cm}$.

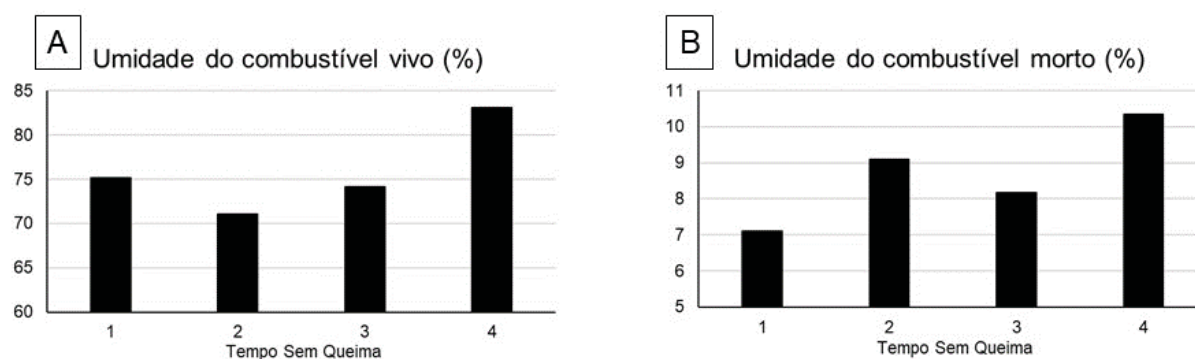
FIGURA 13 - MASSA DAS HERBÁCEAS TOTAL (A) E MASSA DE COMBUSTÍVEL TOTAL (B)



FONTE: Adaptado de Moreira (2019).

Na FIGURA 14 são apresentados os resultados referentes às variáveis umidade do combustível vivo (UCV) (FIGURA 14A) e umidade do combustível morto (UCM) (FIGURA 14B).

FIGURA 14 - UMIDADE DO COMBUSTÍVEL VIVO (A) E MORTO (B) NAOS DIFERENTES TEMPOS SEM QUEIMA



FONTE: Adaptado de Moreira (2019).

Para ambas as variáveis os maiores valores de umidade foram encontrados nas áreas com 4 anos sem queima, com 83,13% para variável UCV e 10,34% para umidade UCM. Em média, em todas os diferentes anos sem queima a umidade do material combustível vivo foi cerca de 8 vezes maior ao do material morto.

5.2 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Na TABELA 1 são apresentados os valores médios da temperatura do ar registrados durante a realização das queimas experimentais. Observa-se que a temperatura do ar sofreu pouca variação nas queimas realizadas no mesmo mês (letras minúsculas), sendo que a única diferença estatística significativa foi encontrada no mês de agosto.

TABELA 1 - TEMPERATURA MÉDIA DO AR (°C) DURANTE A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

MESES	ANO(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	32,2 ^{ABa}	33,1 ^{Ba}	31,7 ^{Aa}
Julho	-	30,0 ^{Aa}	30,3 ^{Aa}	30,3 ^{Aa}
Agosto	-	33,0 ^{Ba}	31,3 ^{ABa}	36,4 ^{Bb}
Setembro	-	33,1 ^{Ba}	33,5 ^{Ba}	32,4 ^{Aa}

FONTE: O autor, 2019

NOTA: Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança, pelo Teste de Tukey.

Ainda sobre a TABELA 1, analisando-se as os distintos meses de realização das queimas (letras maiúsculas), observou-se diferenças estatísticas significativas, cujos maiores valores encontrados para temperatura do ar situaram-se nos meses de agosto e setembro. De modo geral, essa variável apresentou um coeficiente de variação de 5,3%.

Antunes et al. (2010) testando o efeito do microclima em espécies no Cerrado, encontraram pouca variação na temperatura do ar, entre 28 e 31 °C, valores que estão na mesma faixa encontrados nesse trabalho. Silva et al. (2007) também evidenciou pouca variação na temperatura do ar estudando o comportamento de serapilheira no bioma Cerrado.

A umidade relativa do ar variou tanto nos diferentes meses de queima quanto numa mesma época (TABELA 2) apresentando um coeficiente de variação de 7,77%. Os maiores valores de umidade relativa do ar se concentram nos meses de junho e julho e tendem a cair nos meses de agosto e setembro. Por exemplo, nas áreas com 3 anos sem queima o maior valor de umidade relativa do ar foi evidenciado em junho (32,7%) enquanto o menor valor ocorreu no mês de setembro (22,8%).

TABELA 2 - UMIDADE RELATIVA DO AR (%) MÉDIA DURANTE A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

MESES	ANO(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	35,9 ^{Ca}	32,7 ^{Ba}	42,2 ^{Db}
Julho	-	29,4 ^{Ba}	31,8 ^{Ba}	31,4 ^{Ca}
Agosto	-	19,3 ^{Aa}	28,7 ^{Bb}	16,9 ^{Aa}
Setembro	-	22,0 ^{Aa}	22,8 ^{Aa}	22,5 ^{Ba}

FONTE: O auto, 2019

NOTA: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança, pelo Teste de Tukey.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2019), grande parte do Brasil central, região onde o bioma Cerrado está inserido, apresenta os menores índices de umidade relativa do ar entre os meses de junho a setembro. Segundo Soares, Batista e Tetto (2015) a variação da umidade relativa do ar tende a acompanhar o curso anual da precipitação, assim, quando aumenta o período de dias sem chuva, a umidade relativa do ar tende a decrescer.

As variações identificadas na temperatura e umidade relativa do ar numa mesma época, podem estar relacionados aos diferentes horários do dia onde se realizaram as queimas. De maneira geral, as maiores e significativas variações foram encontradas nos diferentes meses de coleta. Esse resultado coaduna com os valores disponíveis pelo INMET, supracitado na FIGURA 4.

Quanto à velocidade do vento (TABELA 3), nas áreas com 3 e 4 anos sem passagem do fogo foi encontrado diferença significativa, onde os maiores valores foram observados no mês de setembro, respectivamente, com $4,0 \text{ m.s}^{-1}$ e $3,1 \text{ m.s}^{-1}$. Para a variável em questão, foi constatado um coeficiente de variação de 34,56%.

TABELA 3 - VELOCIDADE DO VENTO (m.s^{-1}) MÉDIA DURANTE A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

MESES	ANO(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	2,9 ^{Ab}	1,8 ^{Aa}	2,0 ^{ABab}
Julho	-	2,8 ^{Ab}	1,3 ^{Aa}	2,2 ^{Aab}
Agosto	-	2,1 ^{Aa}	2,1 ^{Aa}	1,3 ^{Aa}
Setembro	-	2,8 ^{Aa}	4,0 ^{Bb}	3,1 ^{Bb}

FONTE: O autor, 2019

NOTA: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança, pelo Teste de Tukey.

Os resultados das variáveis meteorológicas obtidas durante a realização das queimas controladas demonstraram que os meses de agosto e setembro apresentaram os maiores valores para temperatura do ar e velocidade do vento e baixos índices de umidade relativa, valores semelhantes aos da estação meteorológica do INMET (FIGURA 3).

Na literatura, diversos trabalhos confirmam a relação entre incêndios florestais e fatores meteorológicos, constatando que os incêndios ocorreram principalmente em condições meteorológicas caracterizadas por longo período de dias sem chuva, associados a altas temperaturas e baixos índices de umidade relativa do ar (e.g. LIU; STANTURF; GOODRICK, 2010; MOLINA-TERRÉN; CARDIL, 2015; RAMOS RODRÍGUEZ et al., 2017).

5.3 COMPORTAMENTO DO FOGO

Não houve propagação do fogo nas áreas com 1 ano sem queima, possivelmente, devido à pouca quantidade de combustível total disponível (FIGURA 11B), principalmente de combustível morto (FIGURA 10B). Situação semelhante foi descrita por Holsinger, Parks e Miller (2016), em áreas de floresta de coníferas subalpina com presença de herbáceas, onde, a falta de combustível influenciada por queimas recentes, impediram a propagação do fogo.

Por se tratar de uma região com predominância de solos do tipo neossolos quartzarênicos (e.g. SANTIAGO; JÚNIOR, 2010; SANTOS et al., 2011; EMBRAPA, 2013; SANTANA et al., 2015; VIANA, 2015) associado à recente passagem do fogo (um ano sem queima) essas áreas apresentaram pouca massa de material combustível. Além disso, o material se encontrava bem disperso (espaçado) interrompendo a combustão, logo após a ignição. Os neossolos são pouco evoluídos, essencialmente quartzozosos, com proporção de argila inferior a 15%, baixo teor de nutrientes, elevada acidez e predominância de argilas de baixa atividade, fato esse que pode estar relacionado com a falta de combustível (FRAZÃO et al., 2008; EMBRAPA, 2013).

Com isso, esse trabalho contou com 96 (noventa e seis) queimas experimentais (4 épocas (meses) em áreas com 3 diferentes anos sem queima contabilizando 960 levantamentos (10 em cada UAD) de informações para cada

variável de comportamento do fogo, que posteriormente foram processadas, avaliadas e interpretadas.

A variável altura de chama (TABELA 4) apresentou um coeficiente de variação de 32,3%. Os maiores valores foram verificados nas queimas efetuadas em setembro, sendo 3,04, 4,13 e 3,81 m respectivamente para as áreas com 2, 3 e 4 anos sem queima, sendo que esses valores foram estatisticamente diferentes apenas nas áreas com 2 e 3 anos sem queima.

TABELA 4 - ALTURA DA CHAMA (m)

MESES	ANO(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	1,69 ^{Aa}	2,20 ^{Aa}	3,49 ^{Bb}
Julho	-	1,27 ^{Aa}	2,76 ^{Ab}	3,03 ^{ABb}
Agosto	-	2,95 ^{Aa}	2,89 ^{Aa}	2,27 ^{Aa}
Setembro	-	3,04 ^{Ba}	4,13 ^{Bb}	3,81 ^{Bab}

FONTE: O autor, 2019

NOTA: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança, pelo Teste de Tukey.

Analisando-se o fator nos diferentes anos sem passagem de fogo (TABELA 4), pode-se verificar que em junho o maior valor foi encontrado na área com 4 anos sem queima (3,49 m), sendo estatisticamente diferente dos demais períodos. Para as avaliações efetuadas em julho, áreas com 3 (2,76 m) e 4 (3,03 m) anos sem passagem do fogo apresentaram os maiores valores e demonstraram ser iguais entre si. Na etapa de setembro a maior altura de chama foi observada na área com 3 anos sem passagem do fogo (4,13 m) demonstrando ser estatisticamente igual às áreas com 4 anos (3,81 m). Já para as queimas realizadas em agosto não houve diferença significativa entre os períodos sem queima analisados.

Os valores de altura de chama estão de acordo com resultados observados em diversas pesquisas sobre comportamento do fogo, respectivamente em vegetações de Pinus em Portugal e Cerrado (e.g. FERNANDES; BOTELHO, 2004; GORGONE-BARBOSA et al., 2015). Os valores (maiores) de altura de chama observados nos meses de agosto e setembro certamente estiveram associados às características meteorológicas do momento da queima, pois, foram verificados nesses meses valores mais elevados para temperatura do ar e velocidade do vento e os menores índices de umidade relativa do ar.

Observou-se que as maiores alturas das chamas ocorreram nas áreas com 3 e 4 anos sem queima onde foram encontrados os maiores valores médios para altura de vegetação herbácea e altura da manta (FIGURA 8), demonstrando a influência dessas variáveis no comportamento da chama.

Savagodo et al. (2007) em estudo sobre características do combustível e do fogo na região da África Ocidental recoberta por vegetação de savana com presença de arbustos e um estrato de herbáceas, encontraram valor de 1,70 m para altura de chama em queimas experimentais a favor do vento. O valor encontrado pelos autores é semelhante aos menores valores de altura de chama presentes nesse trabalho.

Gorgone-Barbosa et al. (2015) em queimas experimentais em dois tipos de vegetação, pastagem natural e outra área invadida pela braquiária *Urochloa brizantha* encontraram altura de chama variando entre 2,6 e 4,7 m, corroborando com os resultados desse trabalho.

Para velocidade de propagação (TABELA 5) os maiores valores foram registrados nas queimas de setembro, sendo os resultados iguais estatisticamente entre as áreas com 2 ($0,45 \text{ m.s}^{-1}$), 3 ($0,60 \text{ m.s}^{-1}$) e 4 ($0,62 \text{ m.s}^{-1}$) anos sem queima. Esta variável apresentou coeficiente de variação de 22,5%.

TABELA 5 - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO FOGO (m.s^{-1})

MESES	ANO(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	0,22 ^{Ba}	0,15 ^{Aa}	0,45 ^{BCb}
Julho	-	0,09 ^{Aa}	0,21 ^{Ab}	0,30 ^{ABb}
Agosto	-	0,36 ^{BCb}	0,21 ^{Aab}	0,19 ^{Aa}
Setembro	-	0,45 ^{Ca}	0,60 ^{Ba}	0,62 ^{Ca}

FONTE: O autor, 2019

NOTA: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança, pelo Teste de Tukey.

Analisando a velocidade de propagação sob a influência dos diferentes anos sem queima, verificou-se que nas queimas de junho o maior valor encontrado foi em áreas com 4 anos sem passagem do fogo ($0,45 \text{ m.s}^{-1}$). Nas queimas de julho os valores mais altos foram em áreas com 3 e 4 anos sem queima ($0,21$ e $0,30 \text{ m.s}^{-1}$, respectivamente), não havendo diferença estatística significativa entre estas. Já nas queimas efetuadas em agosto, áreas com 4 anos sem queima apresentaram o menor valor entre os períodos sem queima ($0,19 \text{ m.s}^{-1}$).

As condições meteorológicas e o combustível são os principais fatores que controlam o comportamento do fogo (e.g. ROTHERMEL, 1972; ABATZOGLOU; KOLDEN, 2013; BIRCH et al., 2015). Para Batista, Beutling e Pereira (2013), uma das variáveis mais importantes que explicam a velocidade de propagação do fogo é a velocidade do vento, sendo comumente utilizada em modelos empíricos de estimativa desta variável.

Para Baeza et al. (2002), além de estar fortemente associada à velocidade de propagação, a velocidade do vento é importante na determinação do comportamento do fogo porque resulta num pré-aquecimento mais acentuado do combustível, afeta a transferência de calor e aumenta o suprimento de oxigênio. Esta informação colabora com os resultados obtidos nos experimentos desse trabalho, pois nas parcelas onde o vento alcançou maior velocidade, o fogo também se propagou mais rapidamente.

Outro fator que pode ter influenciado a velocidade de propagação foi a umidade do material. Nas áreas contendo os menores índices de umidade de combustíveis (tanto mortos quanto vivos), os valores para a velocidade de propagação das chamas foram maiores. Tal comportamento também foi verificado no trabalho de Cheney, Gould e Catchpole (1993), quando investigaram a velocidade de propagação influenciada pela umidade do material de vegetação de gramíneas, em que combustíveis com menores teores de umidade apresentaram velocidades de propagação mais altas.

Stocks et al. (1996) em estudo do comportamento do fogo simulando um incêndio florestal no Parque Nacional de Kruger na África do Sul, em queimas experimentais a favor do vento em vegetação predominante do tipo savana aberta, determinaram valores para velocidade de propagação do fogo variando entre 1,62 e 0,63 m.s⁻¹, sendo que os maiores valores encontrados neste trabalho estão em acordo com os menores valores apresentados pelos autores.

Shea et al. (1996) avaliando o comportamento do fogo em áreas de savana na África evidenciaram as taxas de propagação do fogo variando entre 0,2 m.s⁻¹ a 0,4 m.s⁻¹. Parte dos valores encontrados pelos autores estão próximos aos evidenciados nesse trabalho, porém cabe ressaltar que o maior valor para taxa de propagação foi de 0,62 m.s⁻¹.

Gambiza et al. (2005) em avaliação do comportamento do fogo na floresta estadual de Gwayi no Zimbábue através de queimas experimentais no início da

estação seca descreveram que a taxa de propagação do fogo variou entre 0,01 e 0,35 m.s⁻¹. Os valores descritos pelos autores se assemelham aos encontrados nesse trabalho, muito embora, ao final da estação seca, valores maiores aos da faixa de valores apresentados pelos referidos autores tenham sido registrados.

Para variável temperatura máxima na zona de combustão (TC) (TABELA 6) foi encontrado um coeficiente de variação no valor de 2,47%, onde, nas áreas com 2 anos sem queima o menor valor e única diferença significativa foi evidenciado em julho (640,1 °C), e os maiores valores foram registrados nos demais meses, sendo 821,7 °C em setembro, 769,3 °C em agosto e 729,9 °C em junho.

TABELA 6 - TEMPERATURA MÁXIMA DA ZONA DE COBUSTÃO (°C)

MESES	ANOS(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	729,9 ^{Bab}	705,6 ^{Aa}	805,3 ^{Bb}
Julho	-	640,1 ^{Aa}	705,1 ^{Aa}	796,9 ^{Bb}
Agosto	-	769,3 ^{Ba}	745,8 ^{ABa}	693,3 ^{Aa}
Setembro	-	821,7 ^{Ba}	821,4 ^{Ba}	785,9 ^{Ba}

FONTE: O autor, 2019

NOTA: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança, pelo Teste de Tukey.

Nas áreas com 3 anos sem queima, a etapa de setembro apresentou o maior valor de temperatura (821,4 °C). Em áreas com 4 anos sem passagem do fogo o resultado do teste Tukey detectou apenas uma diferença, onde o menor valor foi evidenciado na etapa de agosto (693,3°C), não havendo diferenças para as demais épocas (TABELA 6).

Ainda sobre os dados contidos na TABELA 6, em avaliações realizadas em junho e julho temperaturas mais altas foram encontradas nas áreas com 4 anos sem queima (805,3 e 796,3 °C, respectivamente). Já para as queimas de agosto e setembro, não foi possível fazer uma diferenciação ao nível estatístico almejado entre os regimes de queima, porém, os maiores valores foram encontrados nas áreas com 2 anos sem queima.

Com base nos resultados expressos na TABELA 6, pode-se considerar que nos meses de agosto e setembro o fator ano sem queima não houve uma influência significativa para a variável temperatura máxima da zona de combustão, podendo ter maiores relações com a época de queima, justamente pelos maiores valores de

temperatura do ambiente (TABELA 1) e menores valores para umidade relativa do ar (TABELA 2) característicos dessas épocas.

Gorgone-Barbosa et al. (2015) avaliando o comportamento do fogo em áreas de savana invadida por *Urochloa brizantha*, determinaram para a temperatura máxima da zona de combustão, valores superiores a 600 °C.

Bailey e Anderson (1980), num dos primeiros trabalhos relacionados à verificação da temperatura máxima da zona de combustão em queimas experimentais no Canadá, em áreas de pradarias composta predominantemente de vegetação arbustiva, encontraram temperaturas superiores a 648 °C, valores esses que estão em acordo com os encontrados nessa pesquisa.

Os resultados para variável intensidade da linha de fogo (INT) são apresentados na TABELA 7. Nas queimas realizadas em junho e julho os valores mais altos foram observados em áreas com 4 anos sem queima (1.215,9 e 649,7 kcal.m⁻¹.s⁻¹, respectivamente). Essa variável apresentou um coeficiente de variação de 26,01%.

TABELA 7 - INTENSIDADE DO FOGO (kcal.m⁻¹.s⁻¹)

MESES	ANO(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	424,8 ^{Ba}	399,7 ^{Aa}	1.215,9 ^{Bb}
Julho	-	126,8 ^{Aa}	389,1 ^{Ab}	649,7 ^{Ab}
Agosto	-	748,4 ^{BCa}	541,2 ^{Aa}	463,2 ^{Aa}
Setembro	-	1.099,3 ^{Ca}	1.448,6 ^{Ba}	1.155,2 ^{Ba}

FONTE: O autor, 2019

NOTA: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança, pelo Teste de Tukey.

Nas áreas com 2 anos sem queima notou-se que o maior valor foi encontrado nas queimas efetuadas no mês de setembro (1.099 kcal.m⁻¹.s⁻¹), sendo esta estatisticamente igual às queimas de agosto (748,4 kcal.m⁻¹.s⁻¹). Para áreas com 3 anos sem passagem do fogo também se evidenciou o maior valor nas queimas de setembro (1.448,6 kcal.m⁻¹.s⁻¹), enquanto que para a área de 4 anos sem passagem do fogo os maiores valores foram observados nas queimas efetuadas em junho e setembro (1.215,9 e 1.155,2 kcal.m⁻¹.s⁻¹, respectivamente) (TABELA 7).

De modo geral, verificou-se que os maiores valores de intensidade ocorreram nas queimas de setembro bem como nas áreas com tempo sem queima

de 4 anos. Destaca-se que, por meio do teste Tukey, nas queimas realizadas em setembro não se observou diferenças entre os distintos anos sem queima, provavelmente neste caso a maior influência na intensidade seja o fator mês de queima, onde se observou os maiores valores para temperatura do ar (TABELA 1) e menores valores para umidade relativa do ar (TABELA 2).

Na maioria dos casos, a intensidade demonstrou ser menor nos primeiros meses de queima (junho e julho), bem como, na vegetação com menor tempo sem a passagem do fogo (2 e 3 anos). Esta característica também foi observada no trabalho de Baeza et al. (2002) estudando o comportamento do fogo em relação à idade da vegetação na Espanha. Os autores verificaram que os valores de intensidade de linha de fogo e a taxa de propagação foram mais baixos nas comunidades com vegetação mais jovem, e que os incêndios intensos e severos são mais prováveis em fases de vegetação seca e senescente do que nos estados mais jovens.

No Cerrado o fogo é mais intenso ao final da estação seca, em que seu comportamento é influenciado pelo clima, registrando os maiores índices de combustão em condições quentes, secas e com muito vento (e.g. LUIS et al., 2004; FINNEY, 2005; SEDANO; RANDERSON, 2014; SCHMIDT et al., 2016).

Williams, Gill e Moore (1998) estudando o fogo em vegetação de savana na Austrália, obtiveram diferenças consistentes na intensidade do fogo entre queimas no início ($504 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e no final ($1.848 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) da estação seca, observando uma variação quase 4 vezes maior ao final da estação seca em relação ao início.

Russell-Smith e Edwards (2006), com base na análise de 719 queimas em áreas de savana do norte da Austrália, demonstraram que os incêndios no início da estação seca são, geralmente, significativamente menos intensos do que aqueles no final da estação seca, fato esse semelhante com os resultados de intensidade encontrados nesse trabalho.

Baeza et al. (2002) em experimento sobre o comportamento do fogo em vegetação com predominância de arbustos (comunidades de tojos do mediterrâneo) com diferentes idades, evidenciaram intensidade do fogo variando entre 16,5 a $551,3 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$. Os valores encontrados nesse trabalho são maiores aos apresentados pelos autores, isso pode estar relacionado ao tipo de vegetação (predomínio de arbustos) e a época das queimas experimentais (condições

meteorológicas moderadas) as quais influenciaram nas variáveis de entrada para se estimar a intensidade do fogo.

O trabalho de Fernandes, Loureiro e Botelho (2004), em povoamentos de pinus em Portugal comprova menores valores das variáveis do comportamento do fogo nas áreas com 2 e 3 anos sem queima, consequência direta do recente tratamento de combustível. Apesar da composição vegetacional distinta, o fato mencionado pelos autores, corroboram com essa pesquisa, uma vez que maiores valores para intensidade foram determinados nas áreas com maior acúmulo de combustível, e consequentemente, com maior tempo sem passagem do fogo.

Bilgili e Saglam (2003) avaliando queimas experimentais na estação seca em áreas com vegetação de maquis (vegetação arbustiva com camada de herbáceas) na Turquia, obtiveram valores para intensidade do fogo variando de 148,6 a 2.471,4 kcal.m⁻¹.s⁻¹.

Van Wilgen et al. (1985), através de queima experimental na floresta estadual de Kogelberg e Cederberg, ambas com vegetação arbustiva aberta com um homogêneo estrato herbáceo, obtiveram valores para intensidade do fogo variando entre 123 kcal.m⁻¹.s⁻¹ a 4.942 kcal.m⁻¹.s⁻¹. Parte dos resultados encontrados pelos autores, estão próximos aos valores desse trabalho, porem o maior valor foi de 1.448 kcal.m⁻¹.s⁻¹.

Fernandes, Loureiro e Botelho (2004), concluíram que o comprimento das chamas e a intensidade do fogo aumentaram com o acúmulo de combustível na superfície. Esta condição também foi observada nesse trabalho, uma vez que os mesmos tratamentos onde foram encontrados maior altura de herbácea, menor umidade de combustível vivo e maior quantidade de combustível morto resultaram em elevadas taxas de intensidade do fogo. Outro fato importante é que nos tratamentos com maior intensidade também foram observadas as maiores temperaturas na zona de combustão e maiores valores de altura de chamas.

As características do material combustível, em conjunto com as variáveis meteorológicas, exercem papel fundamental no comportamento do fogo (FERNANDES; LOUREIRO, 2013). No trabalho de Hoffmann et al. (2012) esta combinação representou um aumento de 66% na altura de chama e 58% em intensidade do fogo em áreas de savana.

Os resultados para a variável calor liberado (CLB) (TABELA 8) apresentaram um coeficiente de variação de 13,45%. Os maiores valores para queimas realizadas

em junho foram obtidos nas áreas com 3 e 4 anos sem queima (2.902,2 e 2.698,4 kcal.m⁻², respectivamente). Para o mês de julho a única diferença observada foi entre TSQ 2 e 4 (1.393,3 e 2.123,6 kcal.m⁻², nessa ordem). Já para os resultados obtidos nos meses de agosto e setembro, não se obteve diferenças significativas entre os anos sem queima.

TABELA 8 - CALOR LIBERADO POR UNIDADE DE ÁREA (kcal.m⁻²)

MESES	ANO(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	1.833,7 ^{ABa}	2.902,2 ^{Bb}	2.698,4 ^{Bb}
Julho	-	1.393,3 ^{Aa}	1.894,6 ^{Aab}	2.123,6 ^{ABb}
Agosto	-	2.077,9 ^{ABa}	2.613,5 ^{ABa}	2.645,8 ^{ABa}
Setembro	-	2.400,6 ^{Ba}	2.465,8 ^{ABa}	1904,5 ^{Aa}

FONTE: O autor, 2019

Nota: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança

Ainda na TABELA 8, analisando a época de queima, em áreas com 2 anos sem passagem do fogo. o maior valor ocorreu nas queimas de setembro (2.400,6 kcal.m⁻²). Para áreas com 3 anos sem queima, as queimas realizadas em junho (2.902,2 kcal.m⁻²), agosto (2.613,5 kcal.m⁻²) e setembro (2.465,8 kcal.m⁻²) demonstraram ser iguais. Já na área com 4 anos sem queima, a única diferença significativa foi evidenciada entre as queimas efetuadas em junho (2.698,4 kg.m⁻² - maior valor) e setembro (1.904,5 kg.m⁻² - menor valor).

Para a variável calor liberado é possível verificar relação com a variável massa de combustível total, pois nas áreas com 3 e 4 anos sem passagem do fogo apresentou maiores valores de massa de combustível total (FIGURA 11B). Esses tratamentos apresentaram os maiores valores para calor liberado. A carga de combustível é um dos fatores de maior influência nas características do fogo, uma vez que a quantidade total de energia térmica disponível para liberação durante a queima está relacionada à quantidade de combustível (e.g. TROLLOPE; TROLLOPE, 2002; CRUZ et al., 2015).

Na TABELA 9 são apresentados os valores para a variável altura de herbáceas após a passagem do fogo (HHERP), com um coeficiente de variação de 31,83%. Nas áreas com 2 anos sem queima (TABELA 9) apenas o valor de julho (10,94 cm) demonstrou ser diferente estatisticamente dos demais. Nas áreas de 3 anos sem passagem do fogo os menores valores ocorreram nos meses de agosto

(3,12 cm) e setembro (2,73 cm). Já para áreas com 4 anos sem queima o maior valor foi encontrado na etapa de julho (9,89 cm).

TABELA 9 - ALTURA DAS HERBÁCEAS (cm) APÓS A PASSAGEM DO FOGO

MESES	ANOS(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	3,57 ^{Aa}	8,00 ^{Bb}	2,72 ^{Aa}
Julho	-	10,94 ^{Bb}	4,53 ^{ABa}	9,89 ^{Cb}
Agosto	-	3,16 ^{Aab}	3,12 ^{Aa}	6,19 ^{BCb}
Setembro	-	5,23 ^{Aba}	2,73 ^{Aa}	3,53 ^{ABa}

FONTE: O autor, 2019

Nota: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança

De maneira geral os menores valores para altura das herbáceas após a passagem do fogo foram identificados nos meses de agosto e de setembro. Nota-se que nas áreas com 4 anos sem passagem do fogo verificou-se o menor valor para altura de herbáceas após a passagem do fogo. Nas queimas efetuadas no mês de setembro bem como em áreas com 4 anos sem passagem do fogo foi encontrado o maior índice para intensidade do fogo, ficando evidente a relação inversamente proporcional entre essas variáveis.

A TABELA 10 apresenta os resultados encontrados para a variável altura da manta após a passagem do fogo, cujo coeficiente de variação de 27,52 %. Nas áreas com TSQ 2 não houve diferença significativa entre as etapas de coleta, sendo o menor valor observado nas queimas de setembro (0,27 cm).

TABELA 10 - ALTURA DA MANTA (cm) APÓS A PASSAGEM DO FOGO

MESES	ANO(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	0,61 ^{Aa}	2,10 ^{Cb}	0,95 ^{Ba}
Julho	-	0,44 ^{Aa}	0,76 ^{Bb}	0,78 ^{Bab}
Agosto	-	0,54 ^{Aa}	0,66 ^{Ba}	0,86 ^{Ba}
Setembro	-	0,27 ^{Aa}	0,25 ^{Aa}	0,34 ^{Aa}

FONTE: O autor, 2019

Nota: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança

Nas áreas com 3 anos sem a passagem do fogo (TABELA 10) a média de altura da manta em junho (2,10 cm) demonstrou ser maior, apresentando diferença significativa com os demais meses. Áreas com 4 anos sem passagem do fogo

também apresentou o maior valor no mês de junho (0,95 cm), porém, demonstrou ser estatisticamente igual às coletas de julho e agosto (0,78 e 0,86 cm, respectivamente) e diferente do encontrado em setembro (0,34 cm).

É possível verificar que para a variável altura da manta após a passagem do fogo nos diferentes tempos sem queimas, os menores valores foram registrados nas queimas efetuadas em setembro, sendo que para essas queimas (setembro) foram verificados os maiores valores para as variáveis altura de chama, velocidade de propagação e intensidade.

Pode-se verificar na TABELA 11 que a média da massa residual (MR) nas áreas com 2 anos sem passagem do fogo apresentou o menor valor no mês de junho (0,08 kg.m⁻²), sendo diferente dos demais meses de queima. Nas áreas de 3 anos sem queima, em junho (0,12 kg.m⁻²) também foi encontrado a menor média da massa residual. Já em áreas com 4 anos sem fogo, a menor quantidade de massa residual foi observada no mês de setembro (0,11 kg.m⁻²). A variável em questão apresentou um coeficiente de variação de 18,73 %.

TABELA 11 - MASSA RESIDUAL (kg.m⁻²)

MESES	ANOS(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	0,08 ^{Aa}	0,12 ^{Aab}	0,19 ^{ABb}
Julho	-	0,25 ^{Ba}	0,21 ^{Ba}	0,22 ^{Ba}
Agosto	-	0,22 ^{Ba}	0,26 ^{Ba}	0,23 ^{Ba}
Setembro	-	0,17 ^{Bab}	0,19 ^{ABb}	0,11 ^{Aa}

FONTE: O autor, 2019

NOTA: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança

Nas queimas realizadas em julho e agosto (TABELA 11) não se obteve diferença estatística significativa para as áreas com diferentes anos sem queima. Para as queimas realizadas em junho a menor quantidade de massa foi encontrada na área com 2 anos sem queima (0,08 kg.m⁻²), sendo este estaticamente igual à área de 3 anos sem queima (0,12 kg.m⁻²). Na avaliação de setembro o menor valor foi observado na área com 4 anos sem passagem do fogo (0,11 kg.m⁻²).

Na TABELA 12, referente à variável consumo de combustível (CONS), encontrou-se um coeficiente de variação de 16,71%. Foi observado que os valores encontrados nas áreas com 2 e 4 anos sem passagem do fogo foram maiores quando as queimas foram efetuadas nos meses de junho e setembro (81,95% e

73,71% para junho) e (73,125 e 75,71% para setembro). Para áreas com 3 anos sem queima, o maior de consumo de combustível foi observado nas avaliações de junho (83,28%).

TABELA 12 - CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (%)

MESES	ANO(S) SEM QUEIMA			
	1	2	3	4
Junho	-	81,95 ^{Ca}	83,28 ^{Ba}	73,12 ^{Ba}
Julho	-	34,75 ^{Aa}	57,15 ^{Ab}	58,31 ^{Ab}
Agosto	-	59,93 ^{Ba}	62,02 ^{Aa}	66,12 ^{ABa}
Setembro	-	73,71 ^{BCa}	67,00 ^{Aa}	75,71 ^{Ba}

FONTE: O autor, 2019

NOTA: - : Significa que não houve leitura. Letras maiúsculas são fatores de comparação das colunas e as letras minúsculas são as comparações nas linhas. Médias seguidas de mesma letra indicam que não existe diferença estatística significativa ao nível de 95% ($p > 0,05$) de confiança.

Como pode se observar na TABELA 12, as médias de consumo de combustível nos meses de junho, agosto e setembro demonstraram ser iguais estatisticamente para os diferentes anos sem passagem do fogo. A única diferença foi verificada na coleta de julho onde o menor valor foi observado nas áreas com 2 anos sem passagem do fogo (34,75%). De acordo com Fernandes e Loureiro (2013) a estimativa do consumo de combustível é um procedimento recomendado em plano de queimas prescritas. Soares, Batista e Tetto (2017) descrevem que a intensidade do fogo é um dos responsáveis pelo efeito imediato na vegetação, existindo uma relação com o consumo de material combustível.

Reyes (2017) em queimas experimentais em área de pastagem no Cerrado, observou valores de consumo de combustível variando entre 43 a 77%. Silva Marinho (2013), estudando o efeito do fogo em banco de sementes em vegetação invadida por *Andropogon gayanus* observou valores de consumo de combustível entre 88 e 94%.

5.4 CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS DE COMBUSTÍVEL, CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E COMPORTAMENTO DO FOGO

Na TABELA 11 estão descritas as correlações globais das variáveis de material combustível, características meteorológicas e de comportamento do fogo. A quantidade de material combustível classificado como herbáceo morto (MHRM) e massa de herbácea total (MHRT) apresentaram correlações significativas e positivas

com todas as variáveis de comportamento do fogo. As variáveis do comportamento do fogo altura de chama (HC), velocidade de propagação (VP), temperatura máxima na zona de combustão (TC) e intensidade do fogo (INT) se auto correlacionaram, destacando-se os valores significativos de 0,73 para VPxHC, 0,59 para TCxVP e 0,66 para HCxINT.

TABELA 13 - CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DO COMBUSTÍVEL, METEOROLÓGICAS E COMPORTAMENTO DO FOGO

VARIÁVEIS	GLOBAL										
	VV	TAR	URA	HC	VP	TC	INT	HHERP	HMANP	MR	CONS
UAD	0,32**	0,23*	-0,72**	0,36**	0,45**	0,32**	0,36*	-0,11	-0,45**	0,11	-0,14
HHER	0,07	0,06	0,11	0,05	0,10	0,20	0,16	-0,14	-0,18	-0,01	0,18
HMAN	-0,13	0,11	0,02	0,16	0,04	0,01	0,11	-0,05	0,27**	0,24*	-0,01
MHRV	-0,24*	-0,08	0,27**	-0,19	-0,33**	0,02	-0,24*	0,21*	0,27**	0,04	0,10
MHRM	0,07	0,12	-0,02	0,56**	0,45**	0,49**	0,49**	-0,24*	-0,05	-0,06	0,29**
MHRT	-0,06	0,06	0,11	0,36**	0,21*	0,41**	0,29**	-0,09	0,09	-0,03	0,28**
MCV	-0,18	0,10	0,16	-0,17	-0,29**	-0,18	-0,15	-0,03	0,36**	0,19	0,13
MCM	-0,1	0,21*	-0,04	0,39**	0,23*	0,27**	0,35**	-0,20	0,17	0,19	0,20
MCT	-0,16	0,19	0,05	0,17	0,01	0,09	0,16	-0,15	0,30**	0,23*	0,20*
UCV	-0,20*	-0,19	0,40**	-0,03	-0,05	-0,20	-0,07	-0,04	0,13	-0,01	0,03
UCM	-0,12	-0,28**	0,35**	-0,17	-0,14	-0,26*	-0,17	0,02	-0,05	0,02	-0,03
VV	1	-0,21*	0,01	0,25*	0,54**	0,29**	0,44**	-0,13	-0,32**	-0,14	-0,06
TAR		1	-0,66**	0,10	0,05	0,10	0,06	-0,10	0,07	-0,03	0,10
URA			1	-0,16	-0,13	-0,10	-0,06	0,03	0,25*	-0,14	0,19
HC				1	0,73**	0,63**	0,66**	-0,37**	-0,16	-0,03	0,10
VP					1	0,59**	0,89**	-0,36**	-0,31**	-0,12	0,13
TC						1	0,55**	-0,23*	-0,23*	-0,10	0,10
INT							1	-0,32**	-0,20*	-0,06	0,29**
HHERP								1	0,11	0,07	-0,15
HMANP									1	0,08	0,15
MR										1	-0,72**
CONS											1

FONTE: O autor, 2019

NOTA: * e ** significativo a 1% e 5%, respectivamente pelo teste t. UAD: Unidade de amostragem de dados; HHER: Altura das herbáceas antes da passagem do fogo; HMAN: Altura da manta antes da passagem do fogo; MHRV: Massa de herbácea viva; MHRM: Massa de herbácea morta; MHRT: Massa de herbáceas total; MCV: Massa de combustível vivo; MCM: Massa de combustível morto; MCT: Massa de combustível total; UCV: Umidade de combustível vivo; UCM: Umidade de combustível morto; VV: Velocidade do vento; TAR: Temperatura do ambiente; URA: Umidade relativa do ambiente; HC: Altura de chama; VP: Velocidade de propagação; TC: Temperatura máxima na zona de combustão; INT: Intensidade da linha de fogo; HHERP: Altura de herbáceas após a passagem do fogo; HMANP: Altura da manta após a passagem do fogo MR: Massa residual; CONS: Consumo de combustível

Conforme a TABELA 11, houve correlação significativa (0,89) entre as variáveis velocidade de propagação e intensidade, porém isso já era de se esperar,

pois na fórmula matemática para estimativa da intensidade há a variável taxa de propagação.

Outra fonte de correlação a ser destacada é a relação inversa (-0,72) entre massa residual (MR) e consumo do combustível (CONS), que, também já era esperado, pois a variável consumo é calculada pela diferença entre a carga total do combustível antes da passagem do fogo com o material residual depois da queima.

A única variável meteorológica que correlacionou significativamente com todas as variáveis do comportamento do fogo foi a velocidade do vento (TABELA 11) destacando-se a maior correlação (0,54) entre VVxVP. White (2014), em avaliação e modelagem do comportamento do fogo em material combustível de Eucalipto se deparou com correlação significativa e positiva entre a velocidade de propagação e velocidade do vento (0,72). Outra correlação significativa evidenciada pelo autor foi entre comprimento de chama e velocidade do vento (0,43), ao passo que as correlações entre essas variáveis também foram significativas nesse trabalho.

Jacobs (2018), ao estudar o comportamento do fogo em diferentes épocas do ano em área de Savana na África Ocidental concluíram que as características das queimas experimentais variam de acordo com a estação em que as mesmas são efetuadas. Obteve-se correlação significativa e positiva entre as variáveis altura de chama e intensidade do fogo (0,54).

Reyes (2017), em avaliação e modelagem do comportamento do fogo em duas áreas de pastagem e uma de Cerrado *strictu sensu* descreveu correlação significativa e positiva nas três áreas para as variáveis intensidade do fogo e velocidade de propagação sendo respectivamente 0,90 e 0,72 para áreas de pastagens e 0,93 para área de Cerrado. Também foi observado correlações significativas entre altura de chama e velocidade de propagação, bem como entre altura de chama e intensidade do fogo. As relações encontradas pelo autor corroboram com este trabalho, onde foi observado correlações significativas entre as variáveis citadas.

Saglam et al. (2008) em queimas experimentais em vegetação arbustiva do Mediterrâneo, observou correlações significativas entre intensidade do fogo e velocidade de propagação (0,94).

Beutling (2009), em análise do comportamento do fogo em laboratório e campo, utilizando acículas de Pinus como material combustível, encontrou

correlação significativa entre velocidade de propagação e intensidade da linha de fogo.

Batista, Beutling e Pereira (2013), em experimento de queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*, obtiveram maiores correlações entre altura de chama e velocidade de propagação (0,86), seguida da correlação entre intensidade e altura de chama (0,77), destacando também a correlação entre intensidade e velocidade de propagação (0,67) e consumo de combustível (0,97). Os dados encontrados pelos autores também corroboram com os encontrados neste trabalho, porém a maior correlação evidenciada foi entre intensidade e velocidade de propagação.

Pereira (2015), analisou a correlação entre variáveis meteorológicas e de comportamento do fogo através de queimas experimentais em povoamentos de *Pinus taeda*, constatando valor significativo e positivo (0,94) entre velocidade de propagação e intensidade do fogo e, apesar de não se tratar do mesmo material combustível, este valor também corrobora com os valores encontrados neste trabalho.

White et al. (2016) desenvolveram modelos matemáticos empíricos para descrever o comportamento do fogo em plantações comerciais de Eucaliptos no Brasil, obtendo correlação significativa e positiva entre intensidade e velocidade de propagação (0,82), entre intensidade e altura de chama (0,70) e entre velocidade de propagação e altura de chama (0,51).

Em geral foram observadas correlações significativas entre as variáveis do comportamento do fogo, principalmente entre as variáveis INT e VP. Foi evidenciada correlação positiva entre HC e VP. Apenas as variáveis MHRM, MHRT e MCM apresentaram correlações significativas com todas as variáveis de comportamento do fogo. Com relação às variáveis meteorológicas, apenas a variável velocidade do vento apresentou correlações significativas com todas as variáveis do comportamento.

5.5 MODELOS MATEMÁTICOS PARA O COMPORTAMENTO DO FOGO

A TABELA 14 apresenta o resultado dos ajustes para os modelos de predição do comportamento do fogo. O número de identificação do modelo (NDI) 1 foi o que melhor estimou a variável altura de chama com R^2_{aj} no valor de 0,68 e

apresentou o menor erro absoluto, utilizando-se as variáveis VP, MCM e MCV como variáveis independentes. O modelo 4 foi o que apresentou o melhor R^2_{aj} (0,73) para estimar a velocidade de propagação utilizando-se as variáveis HC, TC e VV.

Para estimativa da intensidade do fogo utilizando como uma das variáveis independentes a VP, o modelo 7 apresentou o melhor ajuste, com um coeficiente de determinação 0,92. Os modelos 8 (R^2_{aj} 0,92) e 9 (R^2_{aj} 0,91) utilizaram as mesmas variáveis, porém geraram valores betas diferentes.

Utilizando-se as variáveis VV, MCM e MCT, TC e MR, além de HC no modelo 10 para estimar a intensidade do fogo, obteve-se o melhor R^2_{aj} 0,75. O modelo 11 também apresentou o mesmo valor de R^2_{aj} do modelo 10, utilizando-se as mesmas variáveis, porém apresentando valores de betas diferentes (TABELA 14).

Para se estimar intensidade apenas com variáveis referente às características meteorológicas e de material combustível, o modelo 13 apresentou o melhor R^2_{aj} (0,58), utilizando-se as variáveis MHRM, MCT, VV, HHER e URA. O modelo 15 apresentou a menor quantidade de variável estimando a intensidade apenas com MHRM, MCT, VV e MCM, obtendo um R^2_{aj} de 0,53 (TABELA 14).

Dentre os modelos de predição para altura de chama, os que apresentaram melhores ajustes utilizaram como variável independente a velocidade de propagação do fogo, alcançando resultados aceitáveis, de acordo com a literatura, para R^2 ajustado de 0,68 (modelo 1), 0,66 (modelo 2) e 0,64 (modelo 3).

Reyes (2017), obteve como melhor resultado, R^2_{aj} de 0,78 para estimativas da altura de chama, levando em consideração que o modelo utiliza variáveis meteorológicas (velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura do ambiente) e de material combustível (massa de combustível total, vivo e morto).

TABELA 14 - MODELOS PARA ESTIMATIVAS DE VARIÁVEIS DO COMPORTAMENTO DO FOGO

NDI	EQUAÇÃO		R²	R²aj	Eabs
ALTURA DE CHAMA					
1	-1,053+((VP^05)^9,530)+(LN(MCM)^0,480)+(VP*(-5,598))+(LOG(MCV)^(-1,571))+(MCM^3*1,466) +ε		0,70	0,68	0,63
2	-0,187+(VP^0,5*8,918)+(LN(MCM)^0,766)+(VP*(-4,838))+(LOG(MCV)^(-1,188)) +ε		0,67	0,66	0,65
3	0,242+(VP^0,5*8,944)+(LN(MCM)^0,604)+(VP*(-4,316)) +ε		0,65	0,64	0,68
VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO					
4	-14,518+(HC^0,5*0,372)+(VV^0,05)+(TC^3*0,001)+(TC^2*0,001)+(TC^0,5*0,941)+(HC^3*(-0,001)) +ε		0,74	0,73	0,1
5	-12,414+(HC^0,5*0,252)+(VV^0,049)+(TC^3*0,001)+(TC^2*0,001)+(TC^0,5*0,812) +ε		0,73	0,71	0,11
6	-12,368+(HC^0,5*1,472)+(TC^3*0,001)+(TC^2*0,001)+(TC^0,5*0,748)+(HC^3*(-0,004))+(LOG(HC)^*(-1,562))+(HHERP^0,5*(-0,032)) +ε		0,72	0,69	0,11
INTENSIDADE COM VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO					
7	-1039,701+(VP*1251,299)+(MCT^2*624,853)+(HHER^3*(-0,01))+(HHER^2*0,656)+(MCV^2*(-395,696))+(VP^0,5*1106,888)+(MR^0,5*526,943) +ε		0,93	0,92	149,5
8	-828,715+(VP*1282,501)+(MCT^2*668,231)+(HHER^3*(-0,01))+(HHER^2*0,685)+(MCV^2*(-448,588))+(VP^0,5*1021,212) +ε		0,92	0,92	153,4
9	-587,288+(VP*2180,362)+(MCT^2*661,432)+(HHER^3*(-0,01))+(HHER^2*0,719)+(MCV^2*(-437,276)) +ε		0,91	0,91	159,9
INTENSIDADE COM ALTURA DE CHAMA					
10	27,208+(HC*560,759)+(MCT^3*88,85)+(TC^3*0,001)+(VV*117,187)+(LN(MCT)*167,578)+(HC^2*(-61,851))+(TC^2*(-0,007))+(MR^3*3758,861)+(MCM^3*556,426) +ε		0,78	0,75	263,2
11	-119,998+(HC*564,027)+(MCT^3*99,957)+(TC^3*0,001)+(VV*114,75)+(HC^2*(-62,946))+(TC^2*(-0,007))+(MR^3*4423,117)+(MCM^3*715,282) +ε		0,77	0,75	264
12	359,174+(HC*511,018)+(MCT^3*105,252)+(TC^3*0,001)+(VV*103,745)+(LN(MCT)*296,223)+(HC^2*(-52,198))+(TC^2*(-0,008))+(MR^3*3762,062) +ε		0,77	0,74	268,1
INTENSIDADE SEM VARIÁVEIS DE QUEIMA					
13	190,76+(MHRM*3120,543)+(MCT^3*102)+(VV^0,5*556,904)+(MCM^3*1150,081)+(HHER^3*(-0,002))+(LOGURA*(-591,182) +ε		0,61	0,58	345
14	-604,551+(MHRM*3251,22)+(MCT^3*109,33)+(VV^0,5*524,831)+(MCM^3*1023,758)+(HHER^3*(-0,003)) +ε		0,58	0,56	352,3
15	-710,34+(MHRM*3531,304)+(MCT^3*82,109)+(VV^0,5*515,256)+(MCM^3*859,038) +ε		0,55	0,53	364,9

FONTE: O autor, 2019

NOTA: HHER: Altura das herbáceas antes da passagem do fogo; MCV: Massa de combustível vivo; MCM: Massa de combustível morto; MCT: Massa de combustível total; VV: Velocidade do vento; URA: Umidade relativa do ar; HC: Altura de chama; VP: Velocidade de propagação; TC: Temperatura máxima na zona de combustão; HHERP: Altura de herbáceas após a passagem do fogo; Massa residual.

Dentre os modelos de predição para altura de chama, os que apresentaram melhores ajustes utilizaram como variável independente a velocidade de propagação do fogo, alcançando resultados aceitáveis, de acordo com a literatura, para R^2 ajustado de 0,68 (modelo 1), 0,66 (modelo 2) e 0,64 (modelo 3).

Reyes (2017), obteve como melhor resultado, R^2_{aj} de 0,78 para estimativas da altura de chama, levando em consideração que o modelo utiliza variáveis meteorológicas (velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura do ambiente) e de material combustível (massa de combustível total, vivo e morto).

Pereira (2015), ajustando modelos para prever a altura de chama, obteve valores de coeficiente de determinação de 0,94. White (2014), elaborou modelos para estimar altura de chama com R^2 de 0,68, levando em consideração que o modelo utiliza as variáveis espessura do leito, umidade do material combustível (classe 1 hora) e velocidade do vento. Os ajustes obtidos por ambos os autores estão em conformidade com os valores evidenciados nesse trabalho.

Batista, Beutling e Pereira (2013), estimando o comportamento do fogo sob povoamentos de *Pinus elliottii*, obtiveram para altura de chama R^2 ajustado variando entre 0,83 e 0,96, utilizando como variáveis independentes a massa de combustível, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e consumo de combustível.

De maneira geral, os modelos que melhor estimaram a HC utilizaram a variável VP, ao passo que quando a variável dependente era a VP, a maioria dos modelos de predição utilizaram a HC, isso pode ser explicado pelas altas correlações existentes, entre essas variáveis.

White (2014), ao ajustar modelos para descrever a velocidade de propagação do fogo encontrou R^2 de 0,65 utilizando as variáveis de densidade do leito do combustível, umidade do material combustível de 1 hora e velocidade do vento, destacando que o modelo apresentou variável dependente (velocidade de propagação) logaritimizada.

Batista, Beutling e Pereira (2013), estimaram a velocidade de propagação através de modelos empíricos, obtendo ajustes com R^2 ajustado variando entre 0,82 e 0,87. Os valores obtidos pelos autores supracitados corroboram com esse trabalho, uma vez que foi evidenciado coeficiente de determinação entre 0,74 (modelo 4) e 0,72 (modelo 6).

Para intensidade da linha de fogo, os melhores modelos para estimativa foram os que utilizaram a VP (modelo, $R^2= 0,92$, 7, modelo 8, $R^2=0,92$ e modelo 9, $R^2=0,91$) como variável independente, haja visto a alta correlação entre as mesmas. Não bastante, obteve-se alguns modelos com valores para R^2 ajustado aceitáveis, com base na literatura, com a HC como variável independente modelo 10 ($R^2= 0,75$), modelo 11 ($R^2= 0,75$) e modelo 12 ($R^2= 0,74$).

Vale destacar que também foram encontrados ajustes razoáveis para os modelos que estimam a intensidade utilizando apenas as variáveis material combustível e meteorológicas, como por exemplo, os modelos 13 ($R^2= 0,58$), 14 ($R^2= 0,56$) e 15 ($R^2= 0,53$) utilizando variáveis que não utilizam variáveis do comportamento do fogo, facilitando o processo de estimativa da intensidade, muito importante para decisões a serem tomadas nas áreas que em serão realizadas atividades de manejo integrado e adaptativo do fogo.

A estimativa da intensidade do fogo utilizando-se como variáveis independentes as variáveis meteorológicas, do material combustível e a velocidade de propagação, apresentaram, de maneira geral, os melhores ajustes, uma vez que isso já era esperado, pois para se calcular a intensidade foi utilizada a fórmula de Byram (1959), que utiliza a multiplicação de três variáveis sendo velocidade de propagação, massa total de combustível e poder calorífico.

Ao ajustar modelos para estimar a intensidade do fogo, Reyes (2017), evidenciou R^2_{aj} variando entre 0,13 e 0,81. No melhor ajuste dos modelos (0,81) utilizou-se as variáveis velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar e massa de combustível total, valores que se encontram próximo aos desse trabalho, uma vez que o melhor R^2_{aj} encontrado para estimar a intensidade do fogo apenas com as variáveis meteorológicas e de combustível foi de 0,58.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo foi possível concluir que:

- a) Para áreas com 1 ano sem queima, independente dos meses em que se fizeram as queimas, não ocorreu propagação do fogo, possivelmente em razão dos menores valores de carga de combustível disponível;
- b) Para as áreas onde o fogo se propagou, nas etapas de agosto e setembro foram encontrados os maiores valores para as variáveis de comportamento do fogo, pois esses meses apresentaram os maiores valores para temperatura do ar e velocidade do vento e menor valor para umidade relativa do ar;
- c) Em relação ao tempo sem queima, nas áreas com 4 anos sem a passagem do fogo observaram-se os maiores valores para as variáveis de comportamento do fogo, estando isso atrelado às características do combustível deste tratamento;
- d) O comportamento do fogo foi influenciado pelas características do material combustível e condições meteorológicas, estando assim em coerência com as hipóteses formuladas para este trabalho;
- e) Os maiores valores de correlação foram observados entre as variáveis de comportamento do fogo, evidenciando a alta relação entre as variáveis estudadas;
- f) A variável velocidade do vento correlacionou significativamente com todas as variáveis do comportamento do fogo;
- g) A intensidade do fogo apresentou correlação significativa com o consumo de combustível, pois essa variável caracteriza a quantidade de energia liberada por área e por tempo;
- h) Os ajustes para os modelos evidenciados nesse trabalho são aceitáveis, com base na literatura, para as estimativas das variáveis altura de chama, velocidade de propagação e intensidade do fogo.

REFERÊNCIAS

- ABATZOGLOU, J. T.; KOLDEN, C. A. Relationships between climate and macroscale area burned in the western United States. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.22, n.7, p.1003-1020, 2013.
- ALBINI, F. A. **Estimating wildfire behavior and effects**. Gen. Tech. Rep. INT-GTR-30. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 92p., v.30, 1976.
- ALMEIDA, R.M.; MACAU, A.; RAMOS, F.M.; FRANÇA, H. Modelo de propagação de fogo em incêndios florestais e a teoria de percolação. **XXXI National Conference on Applied and Computational Mathematics**, Brazil, 2008.
- ANTUNES, M.Z.J.; LOBO, F.A.; DALMAGRO, J.H.; VOURLITIS, G.L.; ORTIZ, C.E.R.; DALMOLIN, A.C.; LUCENA, I.C.; ULI, G.S.; Efeito do microclima no intercâmbio gasoso potencial de cambará (*Vochysia divergens* Pohl) e lixeira (*Curatella americana* L.) em área de Cerrado. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, v.9, n.1, p. 77-85, 2011.
- ARRUDA, M.B.; VON BEHR, M.F. **Jalapão: expedição científica e conservacionista**. IBAMA, 93p. 2002.
- BAEZA, M.J.; DE LUÍS, M.; RAVENTÓS, J.; ESCARRÉ, A. Factors influencing fire behaviour in shrublands of different stand ages and the implications for using prescribed burning to reduce wildfire risk. **Journal of Environmental Management**, London, v.65, n.2, p.199-208, 2002.
- BAILEY, A.W.; ANDERSON, M.L. Fire temperatures in forest communities Grass, Shrub and Aspen of Central Alberta. **Journal of Range Management**, Littleton, v.33, n.1, 1980.
- BARRADAS, A.C.S. **A gestão do fogo na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, Brasil**. 135 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação) - Escola Nacional de Botânica/Jardim Botânico do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2017.
- BATISTA, A.C. **Avaliação da queima controlada em povoamentos de *Pinus taeda* L. no norte do Paraná**. 108f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.
- BATISTA, A.C. **Incêndios florestais**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1990. 115p.
- BATISTA, A.C.; BEUTLING, A.; PEREIRA, J.F. Estimativa do comportamento do fogo em queimas experimentais sob povoamentos de *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.5, 2013.

BATISTA, A.C.; SOARES, R.V. Avaliação do comportamento do fogo em queimas controladas sob povoamentos de *Pinus taeda* no norte do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v.25, n.1/2, 1995.

BESERRA, M.M.L.; FERREIRA, L.M.; CÔRTEZ, L.G.; BARRADAS, A.C.S.; MASCARENHAS, A.F.; COSTA, M.M.; de CRISTO, S.S.V. **Plano de Manejo para Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins (EESGT)**. Instituto Chico Mendes De Conservação da Biodiversidade - ICMBio. 539 p. 2014.

BESSIE, W.C.; JOHNSON, E.A. The relative importance of fuels and weather on fire behavior in subalpine forests. **Ecology**, Oakland, v.76, n.3, p.747-762, 1995.

BEUTLING, A. **Modelagem do comportamento do fogo com base em experimentos laboratoriais e de campo**. 141 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009.

BEUTLING, A.; BATISTA, A.C.; STOLLE, L.; TETTO, A.F.; ALVES, M.V.G. Caracterização e modelagem de material combustível superficial em povoamentos de *Pinus elliottii*. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.3, p.443-452, 2012.

BILGILI, E.; SAGLAM, B. Fire behavior in maquis fuels in Turkey. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.184, n.1-3, p.201-207, 2003.

BIRCH, D.S.; MORGAN, P.; KOLDEN, C.A.; ABATZOGLOU, J.T.; DILLON, G.K.; HUDAK, A.T.; SMITH, A.M.S. Vegetation, topography and daily weather influenced burn severity in central Idaho and western Montana forests. **Ecosphere**, Washington, v.6, n.1, p.1-23, 2015.

BOVA, A.S.; DICKINSON, M.B. Linking surface-fire behavior, stem heating, and tissue necrosis. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.35, n.4, p.814-822, 2005.

BRASIL. Decreto s/n de 27 de setembro de 2001. Cria a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, nos Estados do Tocantins e da Bahia, e dá outras providências, Brasil, 27 de setembro 2001. Disponível em: <
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/2001/Dnn9340.htm> Acesso em: 10 out. 2017.

BROWN J.K.; OBERHEU, R.D.; JOHNSTON C.M. **Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West**. Gen. Tech. Rep. INT-129. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station. p.1-22. 1982.

BROWN, J.K. **Fuel and fire behavior prediction in big sagebrush**. Res. Pap. INT-RP-290. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 10p., v.290, 1982.

BYRAM, G.M. Combustion of forest fuels. In: Davis KP (ed) **Forest fire control and use**. McGraw-Hill, New York. p.61-89, 1959.

CAMARGOS, V.L. **Impactos do fogo no estrato de regeneração e no banco de sementes do solo em um trecho de floresta estacional semidecidual, Viçosa, MG**. 2008, 77f. Tese (doutorado em botânica) Universidade Federal de Viçosa - MG.

CAMARGOS, V.L.; RIBEIRO, G.A.; da SILVA, A.L.F.; MARTINS, S.V.; SILVA CARMO, F.M. Estudo do comportamento do fogo em um trecho de floresta estacional semidecídua no município de Viçosa, Minas Gerais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.25, n.3, p.537-545, 2015.

CASTRO, E.A.; KAUFFMAN, J.B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire. **Journal of tropical ecology**, Cambridge, v.14, n.3, p.263-283, 1998.

CHENEY, N.P.; GOULD, J.S.; CATCHPOLE, W.R. The influence of fuel, weather and fire shape variables on fire-spread in grasslands. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.3, n.1, p.31-44, 1993.

CHENEY, N.P.; GOULD, J.S.; MCCAWE, W.L.; ANDERSON, W.R. Predicting fire behaviour in dry eucalypt forest in southern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.280, p.120-131, 2012.

CHENEY, P.; SULLIVAN, A. **Grassfires, fuel, weather and fire behaviour**. 2nd Edition, (CSIRO Publishing: Collingwood). 2008.

CI - Conservation International do Brasil. Jalapão: Uso de recursos naturais. Relatório Final de Atividades: Edital 003/2001, FNMA/ PROBIO – Uso sustentável de recursos no entorno de Unidades de Conservação. Brasília, DF, 2002.

CONCEIÇÃO, A.A.; PIVELLO, V.R. Biomassa combustível em campo sujo no entorno do Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, n.2, p.146-160, 2011.

CRUZ, M.G.; ALEXANDER, M.E.; PLUCINSKI, M.P. The effect of silvicultural treatments on fire behavior potential in radiate pine plantations of South Australia. **Forest ecology and management**, Amsterdam, v.397, p.27-38, 2017.

CRUZ, M.G.; GOULD, J. Field-based fire behaviour research: past and future roles. In: **Proceedings of the 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation** '13-17 July. 2009.

CRUZ, M.G.; GOULD, J.S.; KIDNIE, S.; BESSELL, R.; NICHOLS, D.; SLIJEPCEVIC, A. Effects of curing on grassfires: II. Effect of grass senescence on the rate of fire spread. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.24, p.838-848, 2015.

CRUZ, M.G.; SULLIVAN, A.; KIDNIE, S.; HURLEY, R.; NICHOLS, D. The effect of grass curing and fuel structure on fire behaviour: Final report. **CSIRO Land and Water**, Canberra, Austrália. 2016.

CRUZ, M.G.; SULLIVAN, A.L.; HURLEY, R.J.; PLUCINSKI, M.P.; GOULD, J.S. The effect of fuel load and structure on grassland fire behaviour and fire danger. **CSIRO Land and Water**, Client Report No EP178976, Canberra, Australia. 2017.

DIAS, G. F.; ASSUNÇÃO, G. M.; ANTONIOLI, L. M.; FUKUTO, T. **Vamos Conhecer o Cerrado: Corredore Ecológico da Região do Jalapão**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 66 p. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Agência Embrapa de informação tecnológica**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT00fx4zsnbz02wyiv80u5vcsvc6pw0vv.html>. Acesso em: 10 de fev. 2019.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª.ed. Brasília: Embrapa Solos; 2013.

FERNANDES, P.; BOTELHO, H. Analysis of the prescribed burning practice in the pine forest of northwestern Portugal. **Journal of Environmental Management**, London, v.70, n.1, p.15-26, 2004.

FERNANDES, P.; LOUREIRO, C. Fine fuels consumption and CO₂ emissions from surface fire experiments in maritime pine stands in northern Portugal. **Forest ecology and management**, Amsterdam, v.291, p.344-356, 2013.

FERNANDES, P.A.M. Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. **Forest ecology and management**, Amsterdam, v.144, n.1-3, p.67-74, 2001.

FERNANDES, P.A.M.; LOUREIRO, C.A.; BOTELHO, H.S. Fire behaviour and severity in a maritime pine stand under differing fuel conditions. **Annals of Forest Science**, Arras, v.61, n.6, p.537-544, 2004.

FERNANDES, P.M.; RIGOLLOT, E. The fire ecology and management of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.241, n.1-3, p.1-13, 2007.

FIDELIS, A.; DELGADO-CARTAY, M.D.; BLANCO, C.C.; MULLER, S.C.; PILLAR, V.D.; PFADENHAUER, J. Fire intensity and severity in Brazilian campos grasslands. **Interciencia: revista de ciencia y tecnologia de america**. Caracas. v.35, n.10 (Oct. 2010), p.739-745, 2010.

FINNEY, M.A. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.211, n.1-2, p.97-108, 2005.

FRANGIEH, N.; MORVAN, D.; MERADJI, S.; ACCARY, G.; BESSONOV, O. Numerical simulation of grassland fires behavior using an implicit physical multiphase model. **Fire Safety Journal**, Suíça, v. 102, p. 37-47, 2018.

FRAZÃO, L.A.; PÍCCOLO, M.C.; FEIGL, C.C.C.; CERRI, C.E.P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.43, n.5, p.641-648, 2008.

GAMBIZA, J.; CAMPBELL, B.M.; MOE, S.T.; FROST, P.G.H. Fire behaviour in a semi-arid *Baikiaea plurijuga* savanna woodland on Kalahari sands in western Zimbabwe. **South African Journal of Science**, Pretoria, v.101, n.5-6, p.239-244, 2005.

GARNICA, J.G.F.; GONZALEZ, D.A.M.; SOLORIO, J.D.B. Forest fire behavior in prescribed burns under different environmental conditions in México. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.234, s1, p.131, 2006.

GIONGO, M.V.; BATISTA, A.C.; SOARES, R.V.; KOEHLER, H.S.; PEREIRA, J.F. Modelagem de umidade do material combustível, baseada em variáveis meteorológicas. **Floresta**, Curitiba, v.39, n.1, 2009.

GOMES, L.; MIRANDA, H.S.; BUSTAMANTE, M.M.C. How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome? **Forest ecology and management**, Amsterdam, v.417, p.281-290, 2018.

GORGONE-BARBOSA, E. PIVELLO, V.R.; BAUTISTA, S. ZUPO, T.; RISSI, M.N.; FIDELIS, A. How can an invasive grass affect fire behavior in a tropical savanna? A community and individual plant level approach. **Biological invasions**, Holanda, v.17, n.1, p.423-431, 2015.

GOVENDER, N.; TROLLOPE, W.S.W.; VAN WILGEN, B.W. The effect of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.43, n.4, p.748-758, 2006.

GRIFFIN, G.F.; FRIEDEL, M.H. Effects of fire on central Australian rangelands I: fire and fuel characteristics and changes in herbage and nutrients. **Australian Journal of Ecology**, Canberra, v.9, n.4, p.381-393, 1984.

HAINES, T.K.; BUSBY, R.L.; CLEAVES, D.A. Prescribed burning in the South: trends, purpose, and barriers. **Southern Journal of Applied Forestry**, Oxford, v.25, n.4, p.149-153, 2001.

HARRIS, R.M.B.; REMENYI, T.A.; WILLIAMSON, G.J.; BINDOFF, N.L.; BOWMAN, D.M.J.S. Climate–vegetation–fire interactions and feedbacks: trivial detail or major

barrier to projecting the future of the Earth system? **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, New York, v.7, n.6, p.910-931, 2016.

HEIKKILA, T. V.; GRONQVIST, R.; JERVÉLIUS, M. **Wildland fire management: handbook for trainers**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010.

HIERS, J.K.; O'BRIEN, J.J.; MITCHELL, R.J.; GREGO, J.M.; LOUDERMILK, L.E.; The wildland fuel cell concept: an approach to characterize fine-scale variation in fuels and fire in frequently burned longleaf pine forests. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.18, n.3, p.315-325, 2009.

HOFFMANN, W.A.; JACONIS, S.Y.; MCKINLEY, K.L.; GEIGER, E.L.; GOTSCH, S. G.; FRANCO, A.C. Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna-forest boundaries. **Australian Journal of Ecology**, Canberra, v.37, n.6, p.634-643, 2012.

HOLSINGER, L.; PARKS, S.A.; MILLER, C. Weather, fuels, and topography impede wildland fire spread in western US landscapes. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.380, p.59-69, 2016.

IBARRA-CASTANEDO, C.; TARPANI, J.R.; MALDAGUE, X.P.V. Nondestructive testing with thermography. **European Journal of Physics**, Reino Unido, v.34, n.6, p.S91, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Escala 1:5.000.000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 20 de jul. 2018.

JACOBS, R.L. **Determinants of Fire Intensity in a Mesic West Africa Savanna: A Statistical Analysis of Fire Characteristics**. 2018, 72 f. A Thesis Presented to the Department of Geography California State University.

JOHNSTON, J.M.; WOOSTER, M.J.; PAUGAM, R.; WANG, X.; LYNHAM, T.J.; Direct estimation of Byram's fire intensity from infrared remote sensing imagery. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.26, n.8, p.668-684, 2017.

KEELEY, J.E. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.18, n.1, p.116-126, 2009.

KLINK, C.A. Relação entre o desenvolvimento agrícola e a biodiversidade. In: Simpósio sobre o Cerrado, 8; International Symposium on Tropical Savanas, 1; 1996. Planaltina. **Anais...** Planaltina: Embrapa CPAC. 1996.

- KUÇUK, O.; BILGILI, E.; SAGLAM, B.; BASKAYA, S.; DINÇ DURMAZ, N. Some parameters affecting fire behavior in Anatolian black pine slash. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Turquia, v.32, n.2, p.121-129, 2008.
- LIBONATI, R. SETZER, A.W.; MORELLI, F.; CAMARA, C. Algoritmo automático de detecção de áreas queimadas em imagens MODIS—aplicação na região do Jalapão, TO. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu, PR**, p.6901-6908, 2013.
- LINN, R.R.; CUNNINGHAM, P. Numerical simulations of grass fires using a coupled atmosphere–fire model: basic fire behavior and dependence on wind speed. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Washington, v.110, n.D13, 19p. 2005.
- LIU, Y.; STANTURF, J.; GOODRICK, S. Trends in global wildfire potential in a changing climate. **Forest ecology and management**, Amsterdam, v.259, n.4, p.685-697, 2010.
- LOBODA, E.L.; MATVIENKO, O.V.; VAVILOV, V.P.; REYNO, V.V. Infrared thermographic evaluation of flame turbulence scale. **Infrared Physics & Technology**, Inglaterra, v.72, p.1-7, 2015.
- LUIS, M.; BAEZA, M.J.; RAVENTÓS, F.; GONZÁLES-HIDALGO, C.J.; Fuel characteristics and fire behaviour in mature Mediterranean gorse shrublands. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.13, n.1, p.79-87, 2004.
- MIRANDA, A.C. MIRANDA, H.S.; OLIVEIRA DIAS, I.F.; SOUZA DIAS, B.F. Soil and air temperatures during prescribed cerated fires in Central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.9, n.3, p.313-320, 1993.
- MIRANDA, H.S.; BUSTAMANTE; M.M.C.; MIRANDA, A.C. The fire factor. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (eds.). **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. Nova York: Columbia University Press, p.51-68, 2002.
- MIRANDA, H.S.; NETO, W.N.; NEVES, B.M.C. Caracterização das queimadas de Cerrado. p.23-34. In: H.S. Miranda (ed.) **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: resultados do Projeto Fogo**. IBAMA/MMA. 2010
- MISTRY, J.; BERARDI, A. Assessing fire potential in a Brazilian Savanna Nature Reserve 1. **Biotropica: The Journal of Biology and Conservation**, Washington, v.37, n.3, p.439-451, 2005.
- MOLINA-TERRÉN, D.; CARDIL, A. Temperature determining larger wildland fires in NE Spain. **Theoretical and Applied Climatology**, Austria, v.125, n.1-2, p.295-302, 2015.

MONTIEL, C.; ARTS, B.; BLENNOW, K.; MENDES, A.C.; CIENCIALA, E.; GRACIA, C.; HASENAUER, H.; KOHL, M.; MARCHETTI, M.; PAAVILAINEN, L.; PEYRON, J.L. **Best practices of fire use: prescribed burning and suppression: Fire programmes in selected case-study regions in Europe**. European Forest Institute, 182p. 2010.

MOREIRA, M.S. **Caracterização e modelagem do material combustível de Cerrado Campo Sujo na região do Jalapão**. 96f. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v.403, n.1, p.853-858, 2000.

NOGUEIRA, C.C.; FERREIRA, M.N.; RECODER, R.S.; CARMIGNOTTO, A.P.; VALDUJO, P.H.; de LIMA, F.C.T.; GREGORIN, R.; SILVEIRA, L.F.; RODRIGUES, M.T. Vertebrados da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins: faunística, biodiversidade e conservação no Cerrado brasileiro. **Biota Neotropica**, Campinas, v.11, n.1, p.329-338, 2011.

O'BRIEN, J.J.; LOUDERMILK, E.L.; HORNSBY, B.; HUDAK, A.T.; BRIGHT, B.C.; DICKINSON, M.B.; HIERS, J.K.; TESKE, C.; OTTMAR, R.D. High-resolution infrared thermography for capturing wildland fire behaviour: RxCADRE 2012. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.25, n.1, p.62-75, 2016.

OLIVERAS, I.; MEIRELLES, S.T.; HIRAKURI, C.R.F.; MIRANDA, H.S.; PIVELLO, V. Effects of fire regimes on herbaceous biomass and nutrient dynamics in the Brazilian savanna. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.22, n.3, p.368-380, 2013.

PAGE, W.G.; WAGENBRENNER, N.S.; BUTLER, B.W.; FORTHOFER, J.M. An evaluation of NDFD weather forecasts for wildland fire behavior prediction. **Weather and Forecasting**, New York, v.33, n.1, p.301-315, 2018.

PEREIRA JÚNIOR, A.C.; OLIVEIRA, S.L.J.; PEREIRA, J.M.C.; TURKMAN, M.A.A. Modelling fire frequency in a Cerrado savanna protected area. **PloS one**, San Francisco, v.9, n.7, 2014.

PEREIRA, J.F. **Comportamento do fogo em função da FMA+ em queimas prescritas sob povoamentos de *Pinus taeda* L. no município de Irati-PR**. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

PEREIRA, R.S.G.; SEKI, J.T.P.; PALHARINI, B.N.; DAMIM, W.; da SILVA, A.C.; MARTINS, B.O. A modelagem matemática no Brasil: resultados de uma revisão

integrativa de teses e dissertações. **Revista Thema**, Pelotas, v.15, n.1, p.156-167, 2018.

PIQUÉ, M.; DOMÈNECH, Rut. Effectiveness of mechanical thinning and prescribed burning on fire behavior in *Pinus nigra* forests in NE Spain. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.618, p.1539-1546, 2018.

PIVELLO, V.R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire ecology**, Washington, v.7, n.1, p.24-39, 2011.

Projeto Corredor Ecológico Região do Jalapão. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/projetojalapao/pt/>>. Acesso em: jul. 2018.

Proteção Florestal e de Incêndio da Califórnia – CALFIRE. Disponível em: <http://cdfdata.fire.ca.gov/incidents/incidents_stats>. Acesso em janeiro de 2019.

RAMOS RODRÍGUEZ, M.P.; RODRÍGUEZ, Y.C.; SIERRA, C.A.M.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F. Relación entre variables meteorológicas e incendios forestales en la provincia pinar del río, Cuba. **Floresta**, Curitiba, v.47, n.3, 2017.

REYES, R.R. **Avaliação do comportamento do fogo em áreas de pastagem e cerrado submetidas a queimas controladas**. 58 f. Dissertação (mestrado em ciências florestais e ambientais) – Campus de Gurupi, Universidade Federal do Tocantins, 2017.

RIBEIRO, G.A. **Estudo do comportamento do fogo e de alguns efeitos da queima controlada em povoamentos de Eucalyptus viminalis Labill em Três Barras, Santa Catarina**. 63 f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma cerrado. p.89-166. In: S.M. Sano & S.P. Almeida (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, Embrapa-CPAC. 1998.

RIGGAN, P.J.; GOODE, S.; JACKS, P.M.; LOCKWOOD, R.N. Interaction of fire and community development in chaparral of southern California. **Ecological Monographs**, Washington, v.58, n.3, p.155-176, 1988.

RODRÍGUEZ, M.P.R.; RODRÍGUEZ, Y.C.; SIERRA, C.A.M.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F. Relación entre variables meteorológicas e incendios forestales en la provincia pinar del río, Cuba. **Floresta**, Curitiba-PR, v.47, n.3, 2017.

ROTHERMEL, R.C. **How to predict the spread and intensity of forest and range fires**. GTR-INT143, USDA Forest Service, Ogden, UT. 168 p. 1983.

ROTHERMEL, R.C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: US Department of Agriculture, **Intermountain Forest and Range Experiment Station**, Utah, 40p., v.115, 1972.

RUSSELL-SMITH, J.; EDWARDS, A.C. Seasonality and fire severity in savanna landscapes of monsoonal northern Australia. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.15, n.4, p.541-550, 2006.

SAGLAM, B.; BILGILI, E.; KUÇUK, O.; DURMAZ, B.D. Fire behavior in Mediterranean shrub species (maquis). **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v.7, n.22, 2008.

SANTANA, H.M.P.; EYJI SANO, E.; OLIVEIRA JUNIOR, M.P.; LACERDA, M.P.C.; MALAQUIAS, J.V. Relação entre atributos físicos e químicos dos solos e a produtividade de capim dourado na região do Jalapão, TO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.4, 2015.

SANTIAGO, A.R.; JÚNIOR, A.C.P. Mapeamento da cobertura da terra dos Parques Estaduais do Jalapão (PEJ), Cantão (PEC) e município de Itaguatins (Tocantins) **Ambiência**, Guarapuava, v.6, n.1, p.109-124, 2010.

SANTOS, R.P. CREMA, A.; SZMUCHROWSKI, M.A.; ASANO, K.; KAWAGUCHI, M. Atlas do corredor ecológico da região do Jalapão. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**, 54p. 2011.

SANTOS, R.P.; CREMA, A.; SZMUCHROWSKI, M.A.; ASANO, K.; KAWAGUCHI, M. Atlas do corredor ecológico da região do Jalapão. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**. 54 p. 2011.

SAVAGODO, P.; ZIDA, D.; SAWADOGO, L.; TIVEAU, D.; TIGABU, M.; ODÉN, P.C. Fuel and fire characteristics in savanna–woodland of West Africa in relation to grazing and dominant grass type. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.16, n.5, p.531-539, 2007.

SCHMIDT, I.B.; FIDELIS, A.; MIRANDA, H.S.; TICKTIN, T. How do the wets burn? Fire behavior and intensity in wet grasslands in the Brazilian savanna. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v.40, n.1, p.167-175, 2017.

SCHMIDT, I.B.; FONSECA, C.B.; FERREIRA, M.C.; SATO, M.N. Experiências internacionais de manejo integrado do fogo em áreas protegidas—recomendações para implementação de manejo integrado de fogo no Cerrado. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v.6, n.2, p.41-54, 2016.

SCHMIDT, I.B.; FONSECA, C.B.; FERREIRA, M.C.; SATO, M.N. Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três unidades de conservação do Cerrado. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v.6, n.2, p.55-70, 2016.

SCHULE, W. Landscapes and climate in prehistory: interactions of wildlife, man, and fire. In: **Fire in the tropical biota**. Springer, Berlin, Heidelberg, p.273-318, 1990.

SEDANO, F.; RANDERSON, J.T. Multi-scale influence of vapor pressure deficit on fire ignition and spread in boreal forest ecosystems. **Biogeosciences**, Alemanha, v.11, p.3739-3755, 2014.

SEGER, C.D. **Material combustível e comportamento do fogo em vegetação de estepe gramíneo-lenhosa na RPPN Caminho das Tropas, Palmeira, Paraná**. 197f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SEGER, C.D.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F.; SOARES, R.V. Comportamento do fogo em queimas controladas de vegetação de Estepe no município de Palmeira, Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v.43, n.4, p.557-568, 2013.

SEPLAN, TOCANTINS Secretaria de Estado da Fazenda e Planejamento (SEPLAN). **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial, 2013.

SHEA, R.W.; SHEA, B.W.; KAUFFMAN, J.B. Fuel biomass and combustion factors associated with fires in savanna ecosystems of South Africa and Zambia. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Washington, v.101, n.D19, 1996.

SILVA MARINHO, M. **Efeito do fogo anual na mortalidade e no banco de sementes de *Andropogon gayanus* (Kunth) e *Melinis minutiflora* (Beauv) no Parque Nacional de Brasília**. 85f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SILVA, C.J.; SANCHES, L.; BLEICH, M.E.; LOBO, F.A.; NOGUEIRA, J.S. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazonica**, Manaus, v.37, n.4, p. 543-548, 2007.

SOARES, R.V. Queimas controladas: prós e contras. **Fórum Nacional Sobre Incêndios Florestais**, v.1, p.6-10, 1995.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. 2.Ed. Revisada. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C.; TETTO, A.F. **Meteorologia e climatologia florestal**. Curitiba, Brasil, 2015.

STOCKS, B.J.; VAN WILGEN, B.W.; TROLLOPE, W.S.W.; MCRAE, D.J.; MASON, J.A.; WIRICH, F.; POTGIETER, A.L.F. Fuels and fire behavior dynamics on large-scale savanna fires in Kruger National Park, South Africa. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Washington, v.101, n.D19, 1996.

TROLLOPE, W.S.W.; DE RONDE, C.; GELDENDHUY, C.J. Fire behaviour. In **Wildland Fire Management Handbook for Sub-Saharan Africa**, eds J.G. Goldammer and C. de Ronde, pp. 27–59. Global Fire Monitoring Center, Freiburg, 2004.

TROLLOPE, W.S.W.; POTGIETER, A.L.F. Fire behaviour in the Kruger National Park. **Journal of the Grassland Society of Southern Africa**, Africa do Sul, v.2, n.2, p.17-22, 1985.

TROLLOPE, W.S.W.; TANTON, N.M. Effect of fire intensity on the grass and bush components of the Eastern Cape Thornveld. **Journal of the Grassland Society of southern Africa**, Africa do Sul, v.3, n.2, p.37-42, 1986.

TROLLOPE, W.S.W.; TROLLOPE, L.A. Fire behaviour a key factor in the fire ecology of African grasslands and savannas. **Forest Fire Research and Wildland Fire Safety**, Nova Jersey, 15p. 2002.

USAMENTIAGA, R.; VENEGAS, P.; GUEREDIAGA, J.; VEGA, L.; MOLLEDA, J.; BULNES, F. G. Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. **Sensors**, Basileia, v.14, n.7, p. 12305-12348, 2014.

VAN WAGNER, C.E. Height of crown scorch in forest fires. **Canadian journal of forest research**, Ottawa, v.3, n.3, p.373-378, 1973.

VAN WAGNER, C.E. Structure of the Canadian forest fire weather index. **Environment Canada, Forestry Service**, Toronto, 1974.

VAN WILGEN, B.W.; LE MAITRE, D.C.; KRUGER, F.J. Fire behaviour in South African fynbos (macchia) vegetation and predictions from Rothermel's fire model. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, p.207-216, 1985.

VEGA, J.A. Resistencia vegetativa ante el fuego a través de la historia de los incendios. **La defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencias**, p.4.66-4.85, 2000.

VIANA, R. H.O. **Ecologia do cerrado arenícola do jalapão, estado de Tocantins**. 2015, 92 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

VIEGAS, D.X. Forest fire propagation. **Philosophical Transactions-Mathematical Physical and Engineering Sciences**, Londres, v.356, n.1748, p.07-2928, 1998.

VIEGAS, D.X.; VIEGAS, M.T. A relationship between rainfall and burned area for Portugal. **International Journal of Wildland Fire**, Australia, v.4, n.1, p.11-16, 1994.

WADE, D.D.; LUNSFORD, J.D.; DIXON, M.J.; MOBLEY, H.E. A guide for prescribed fire in southern forests. **Technical publication R8-TP-US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Region (USA)**, 63p. 1989.

WASTL, C.; SCHUNK, C.; LEUCHNER, M.; PREZZATTI, G.B.; MENZEL, A. Recent climate change: long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.162, p.1-13, 2012.

WHELAN, R.J. **The ecology of fire**. Cambridge University Press, Cambridge. (1995)

WHITE, B.L.A. **Modelagem matemática e avaliação do comportamento do fogo em liteira de eucalipto**. 190f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.

WHITE, B.L.A. Modelos matemáticos de previsão do teor de umidade dos materiais combustíveis florestais finos e mortos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.28, n.1, 2018.

WHITE, B.L.A.; de OLIVEIRA, M.V.N.; RIBEIRO, G. T. Avaliação e simulação do comportamento do fogo em diferentes fitofisionomias de uma área de mata atlântica do nordeste brasileiro. **Floresta**, Curitiba, v.47, n.3, 2017.

WHITE, B.L.A.; RIBEIRO, G.T.; SOUZA, R.M. Caracterização do material combustível e simulação do comportamento do fogo em eucaliptais no litoral norte da Bahia, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v.44, n.1, p.33-42, 2013.

WHITE, B.L.A.; RIBEIRO, G.T.; SOUZA, R.M. O uso do BehavePlus como ferramenta para modelagem do comportamento e efeito do fogo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.33, n.73, p.73-83, 2013.

WHITE, B.L.A.; WHITE, L.A.S.; RIBEIRO, G.T.; SOUZA, R.M. Empirical models for describing fire behavior in Brazilian commercial eucalypt plantations. **Cerne**, Lavras, v.22, n.4, p.397-406, 2016.

WILLIAMS, R.J.; GILL, A.M.; MOORE, P.H.R. Seasonal changes in fire behaviour in a tropical savanna in northern Australia. **International Journal of Wildland Fire**, Austrália, v.8, n.4, p.227-239, 1998.

WOTTON, B.M.; FLANNINGAN, M.D.; MARSHALL, G.A. Potential climate change impacts on fire intensity and key wildfire suppression thresholds in Canada. **Environmental Research Letters**, Philadelphia, v.12, n.9, 2017.